



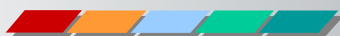
CFK – Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau

DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

Martin Wiedemann



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



Kohlefaserverbundwerkstoffe - Status im Flugzeugbau

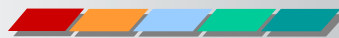
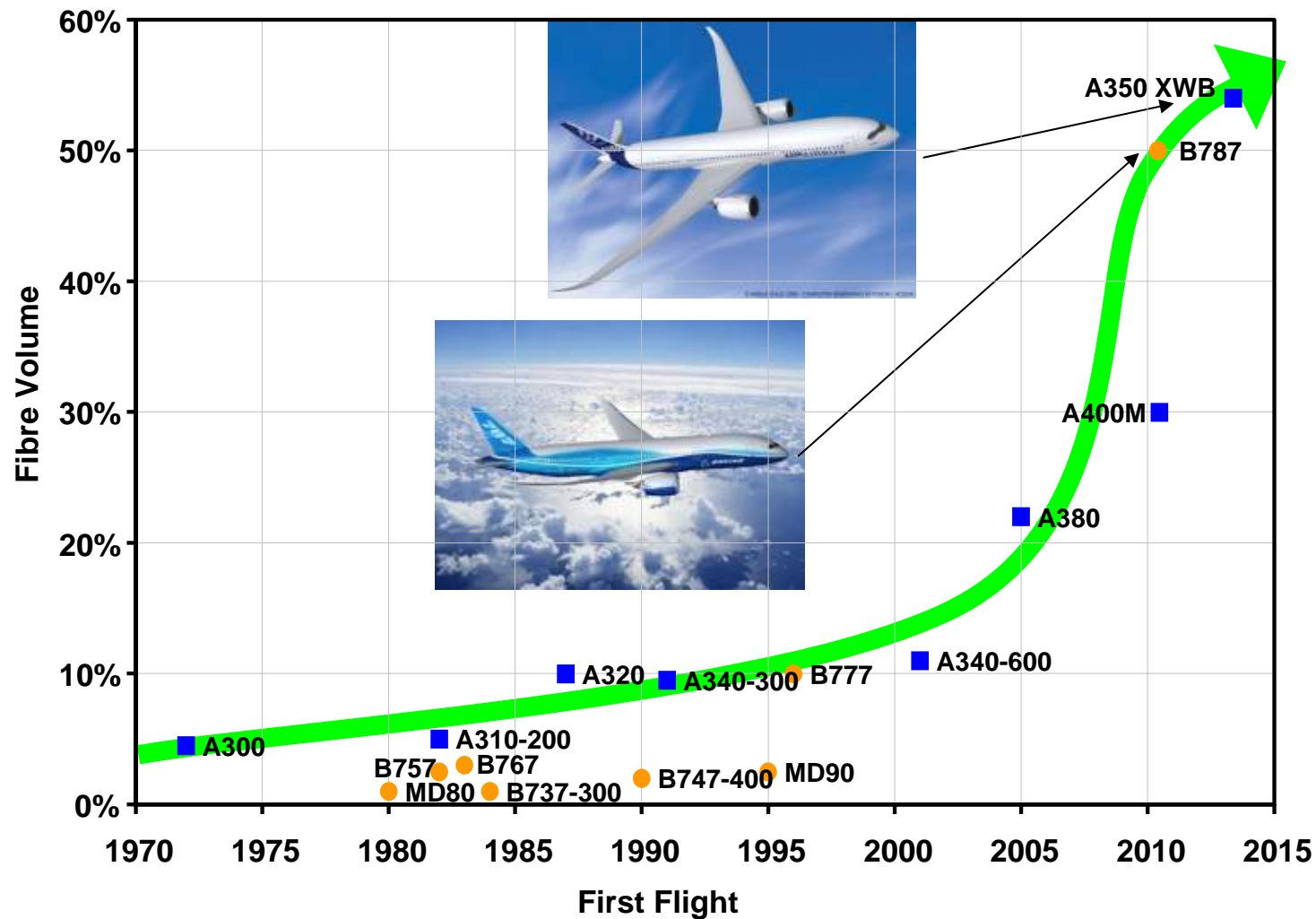
Potentiale / Herausforderungen im Flugzeugbau

Beispiele aus der Prozesskette der
Faserverbundtechnologie

DLR Zentrum für Leichtbau-Produktionstechnologie

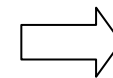
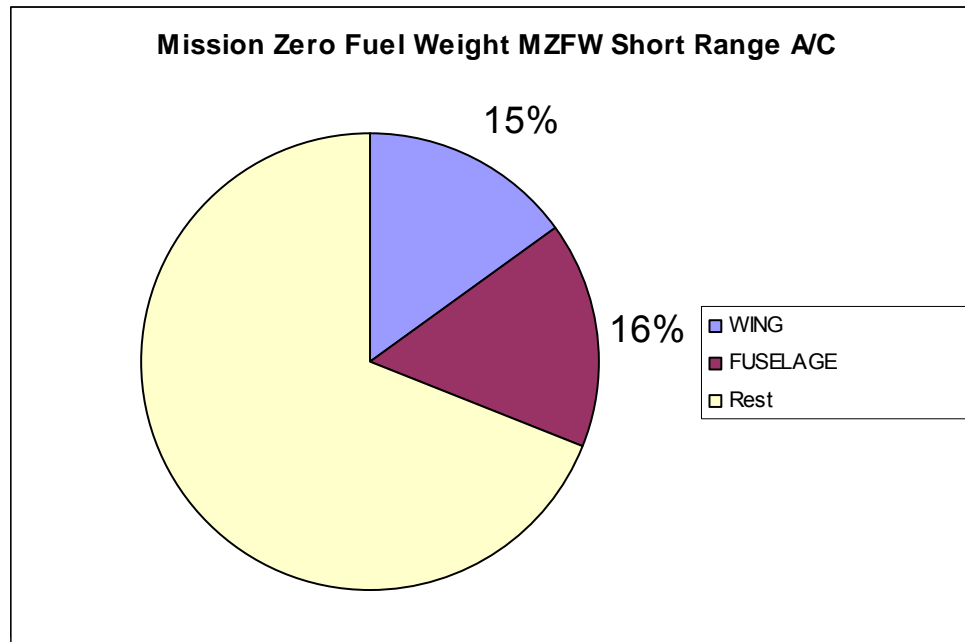
Status

Entwicklung der CFK-Anwendungen im Flugzeugbau



Potentiale im Flugzeugbau

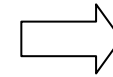
Gewichtseinsparung und CO₂-Reduzierung in neuem Kurzstrecken-Flugzeug



80% Primärstruktur



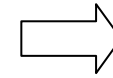
25% MZFW



20% Gewichtseinsparung



-5% MZFW



Vergrößerungsfaktor 3



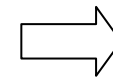
-15% MTOW



Idle*) bei 500 nm



20% Fuel



CO₂-Reduktion

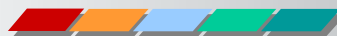


$-0.8 \times 15\% = -12\%$

*) Idle = Spritverbrauch ohne Gewichtsbezug



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

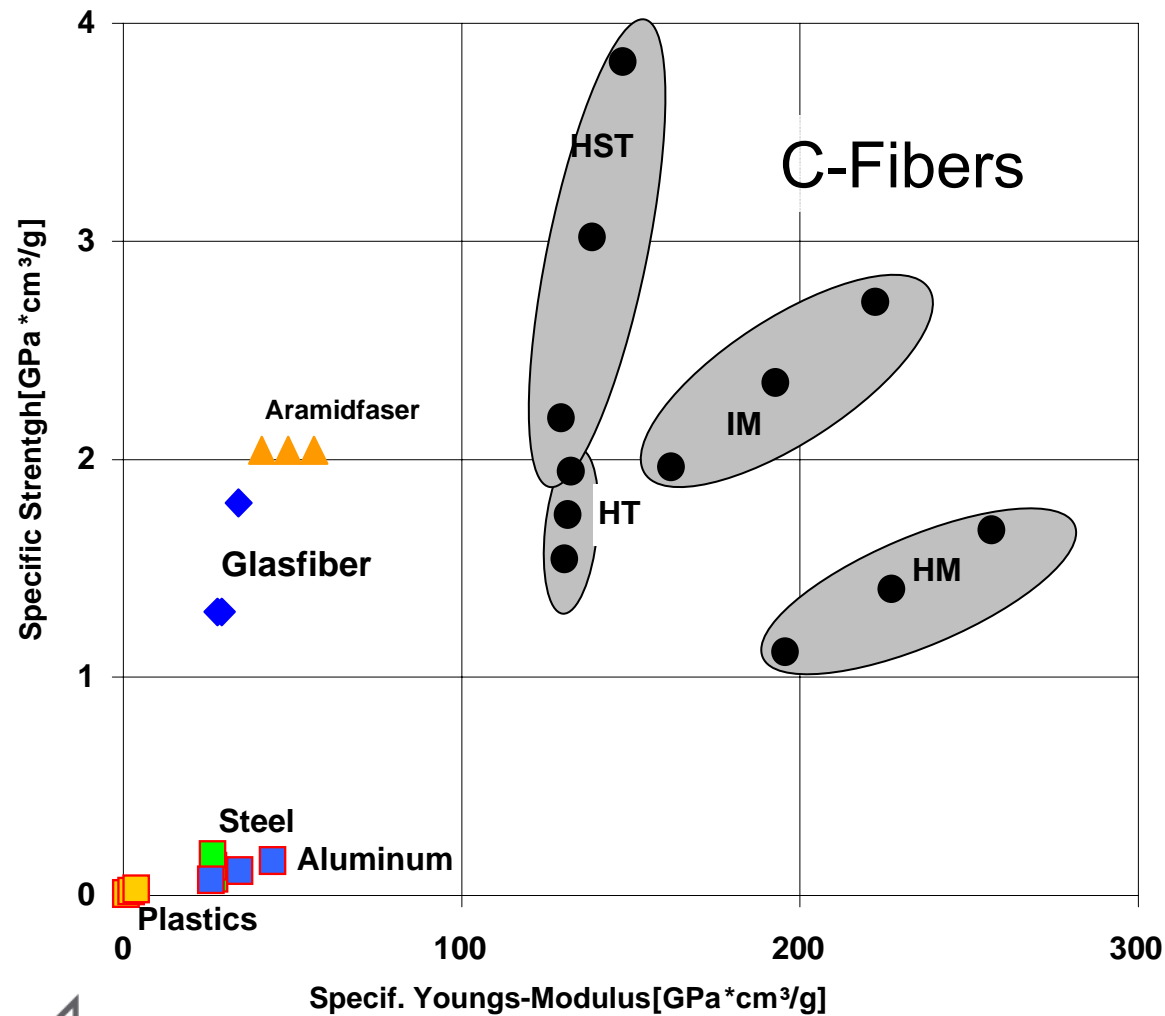


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

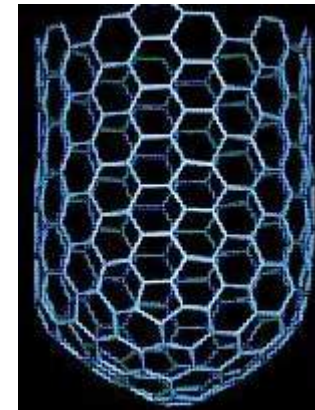
CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 4

Potentiale

Gewichtsbezogene Steifigkeiten und Festigkeiten von CFK-Fasern



Carbon Nano Tubes

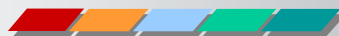


$$E_{\text{CNT}} > 640 \text{ GPa cm}^3/\text{g}$$

$$\sigma_{\text{CNT}} > 37 \text{ GPa cm}^3/\text{g}$$



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 5



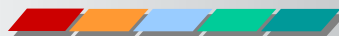
Herausforderungen – Potentialbarrieren

- ✈ Durchgängigkeit in der Prozesskette für Faserverbundtechnologie
- ✈ Verbesserte „Faserpartner“
- ✈ Substitution von spezifischen metallischen Eigenschaften
- ✈ Faserverbundspezifische Auslegungs- und Nachweismethoden
- ✈ Faserverbundspezifische Konstruktion
- ✈ Bauteilanforderungen vs. Fertigungsprozess
- ✈ Eingriffsmöglichkeiten im Prozessschritt Aushärten
- ✈ Werkzeug- und Energiekosten sowie Prozesszeiten
- ✈ Standardisierung von Fertigungsprozessen
- ✈ Integration von Zusatzfunktionen
- ✈ Automatisierung in der Prozesskette für Faserverbunde

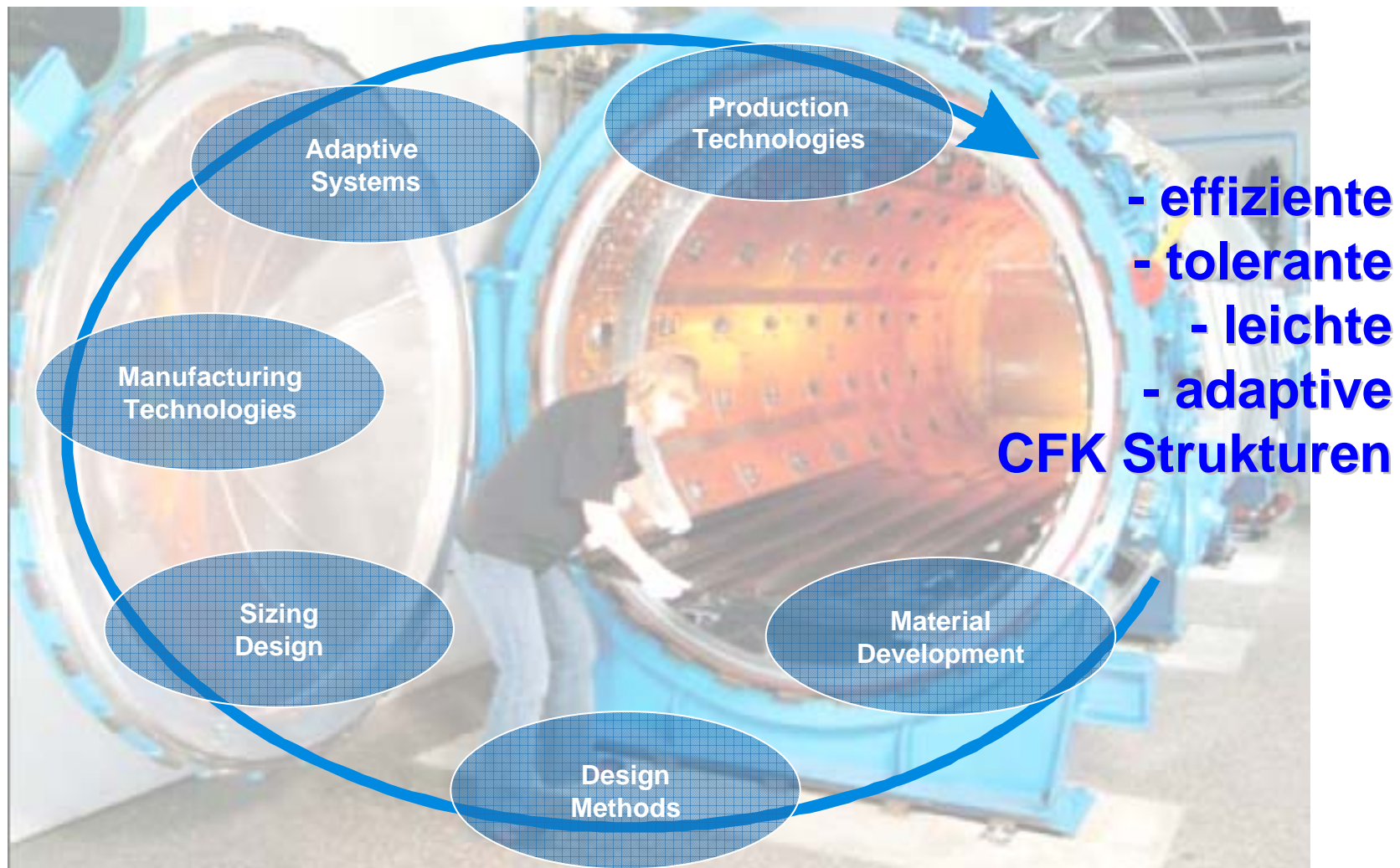


Herausforderungen – Potentialbarrieren

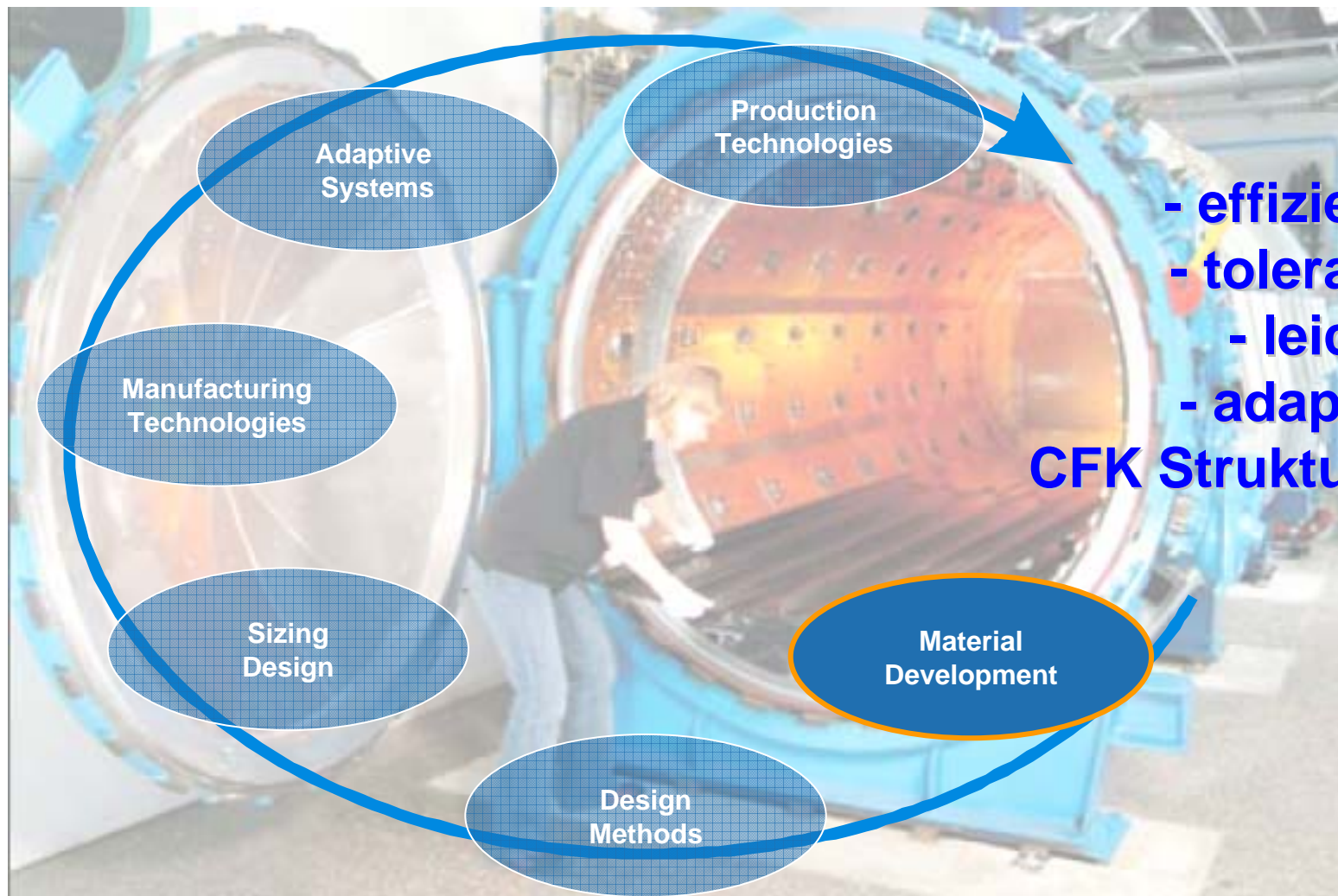
- ✈ Durchgängigkeit in der Prozesskette für Faserverbundtechnologie
- ✈ Verbesserte „Faserpartner“
- ✈ Substitution von spezifischen metallischen Eigenschaften
- ✈ Faserverbundspezifische Auslegungs- und Nachweismethoden
- ✈ Faserverbundspezifische Konstruktion
- ✈ Bauteilanforderungen vs. Fertigungsprozess
- ✈ Eingriffsmöglichkeiten im Prozessschritt Aushärten
- ✈ Werkzeug- und Energiekosten sowie Prozesszeiten
- ✈ Standardisierung von Fertigungsprozessen
- ✈ Integration von Zusatzfunktionen
- ✈ Automatisierung in der Prozesskette für Faserverbunde



Die Prozesskette der Faserverbundtechnologie



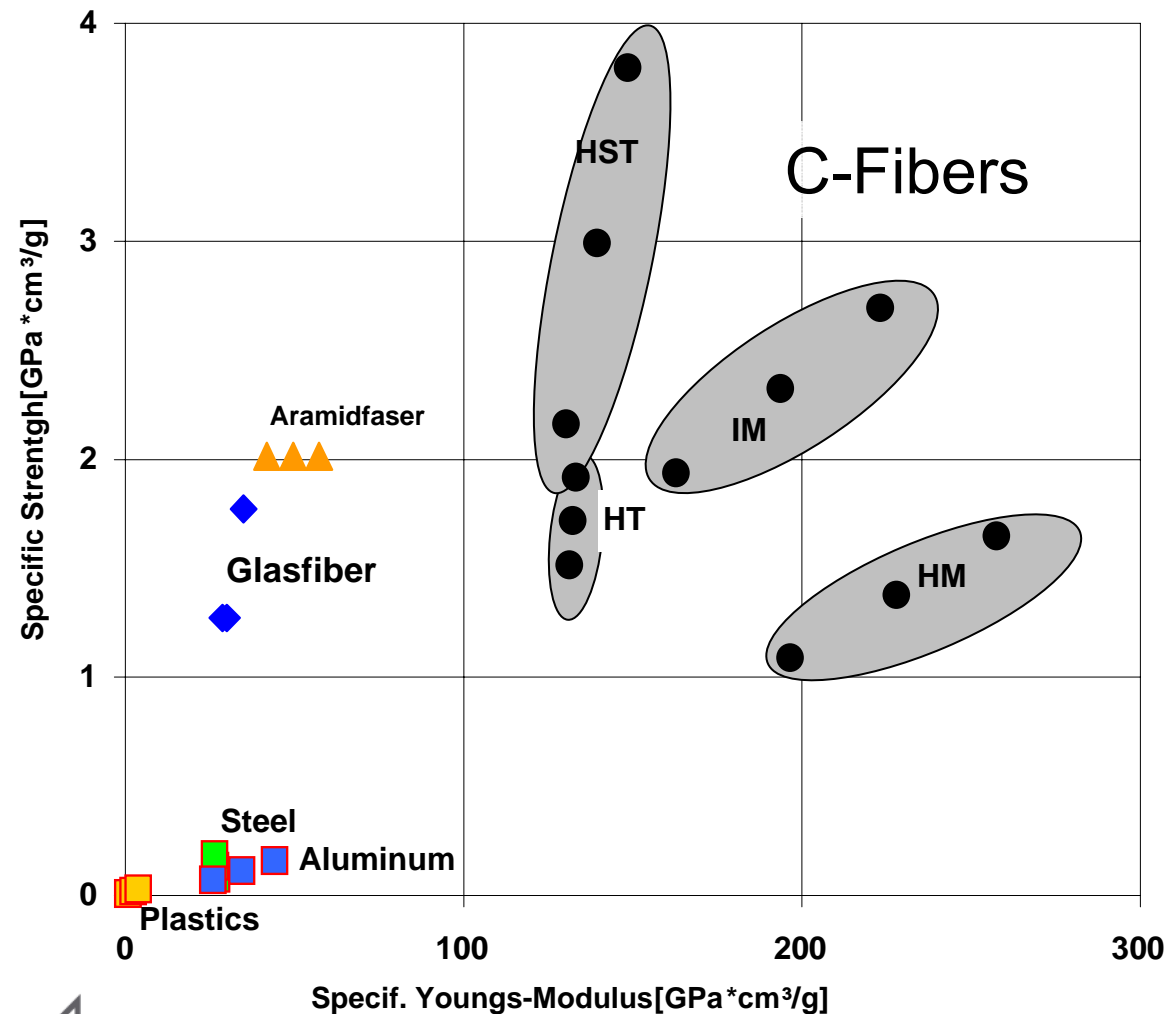
Werkstoffentwicklung - Multifunktionswerkstoffe



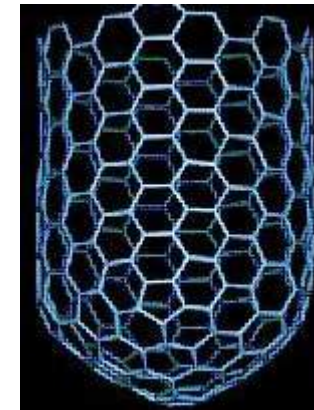
**- effiziente
- tolerante
- leichte
- adaptive
CFK Strukturen**

Werkstoffentwicklung - Multifunktionswerkstoffe

Gewichtsbezogene Steifigkeiten und Festigkeiten von CFK-Fasern



Carbon Nano Tubes

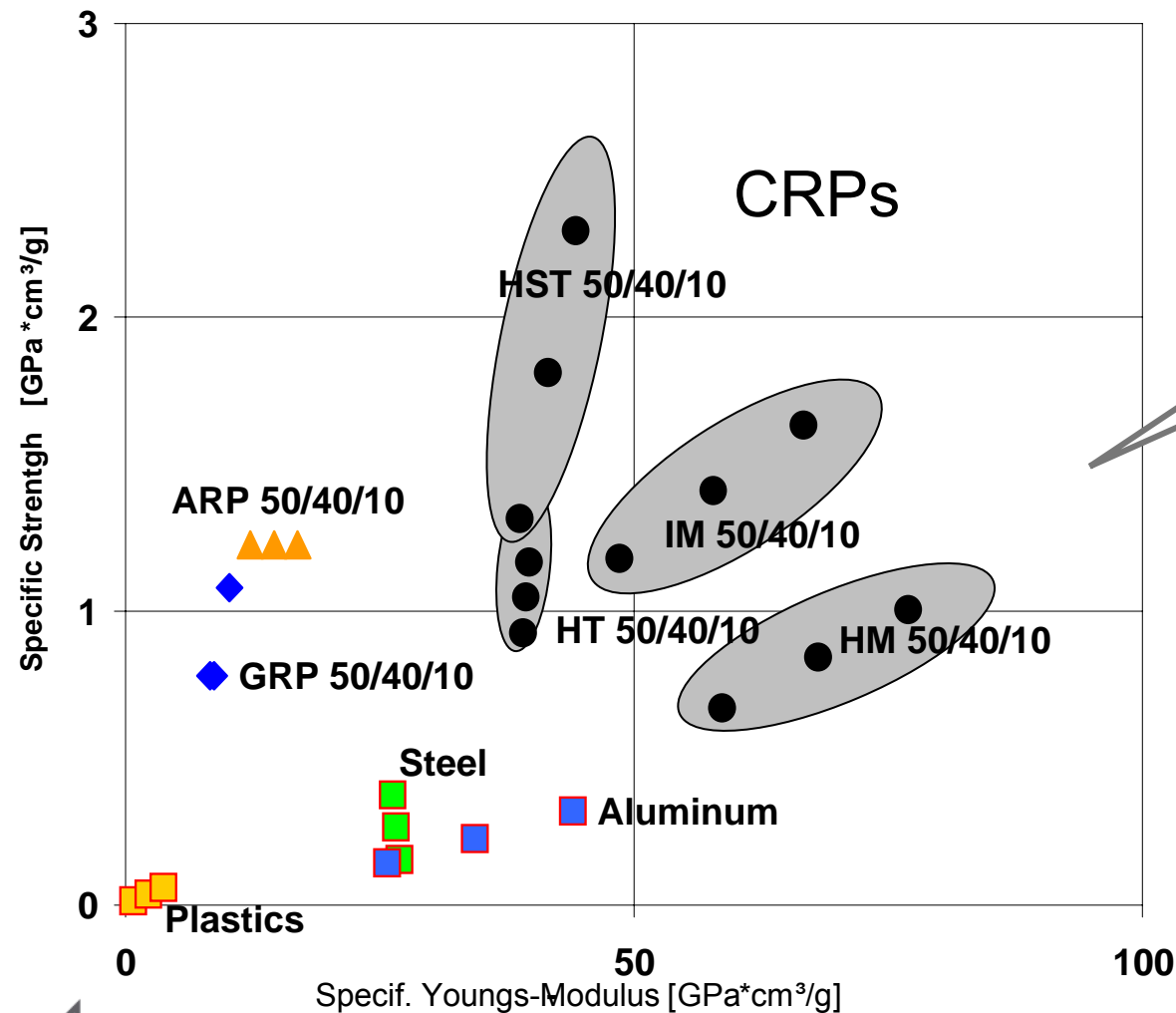


$$E_{\text{CNT}} > 640 \text{ GPa cm}^3/\text{g}$$

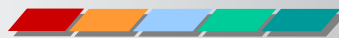
$$\sigma_{\text{CNT}} > 37 \text{ GPa cm}^3/\text{g}$$

Werkstoffentwicklung - Multifunktionswerkstoffe

Gewichtsbezogene Steifigkeiten und Festigkeiten von Laminaten

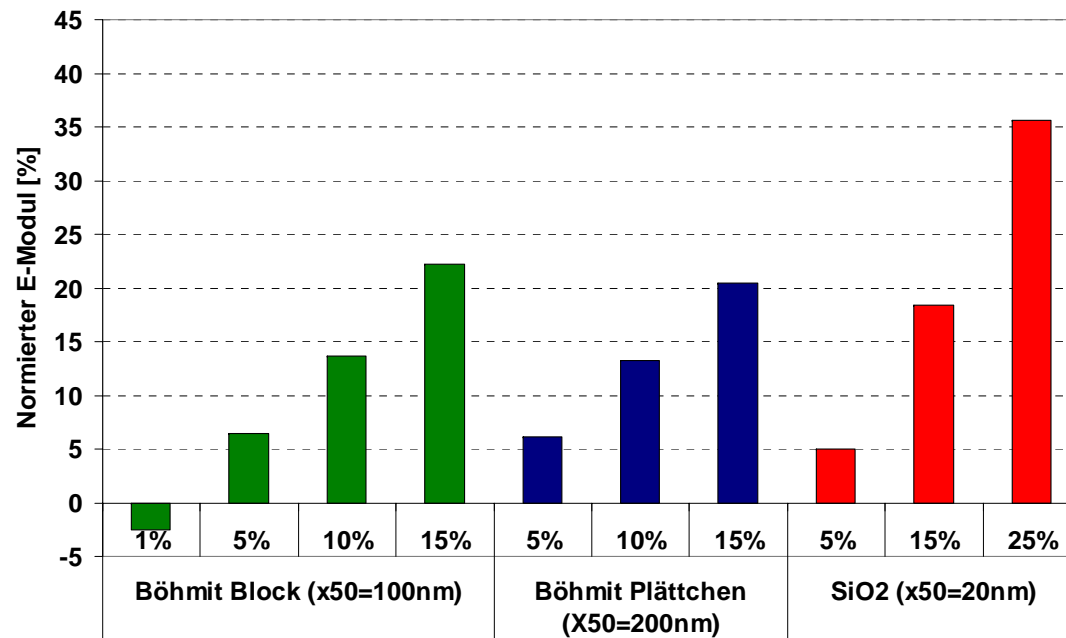


Es braucht
bessere
Matrixwerkstoffe



Werkstoffentwicklung - Multifunktionswerkstoffe

Nano-Partikel erhöhen die **Steifigkeit** von Harzen



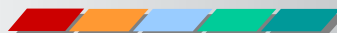
3K - Harzsystem 120 °C mit Partikeln



1K - Harzsystem 180 °C mit Partikeln



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

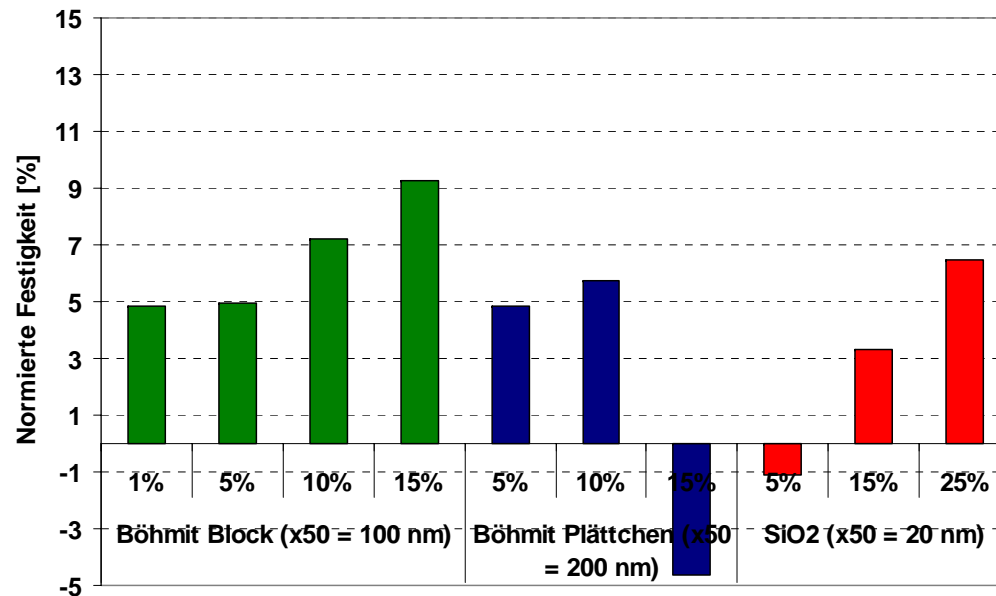


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 12

Werkstoffentwicklung - Multifunktionswerkstoffe

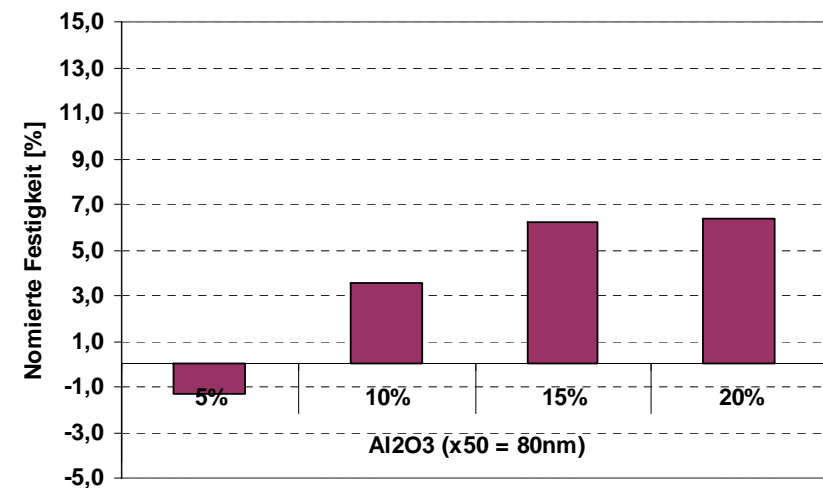
Nano-Partikel erhöhen die **Festigkeit** von Harzen



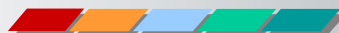
3K - Harzsystem 120 °C mit Partikeln



1K - Harzsystem 180 °C mit Partikeln



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

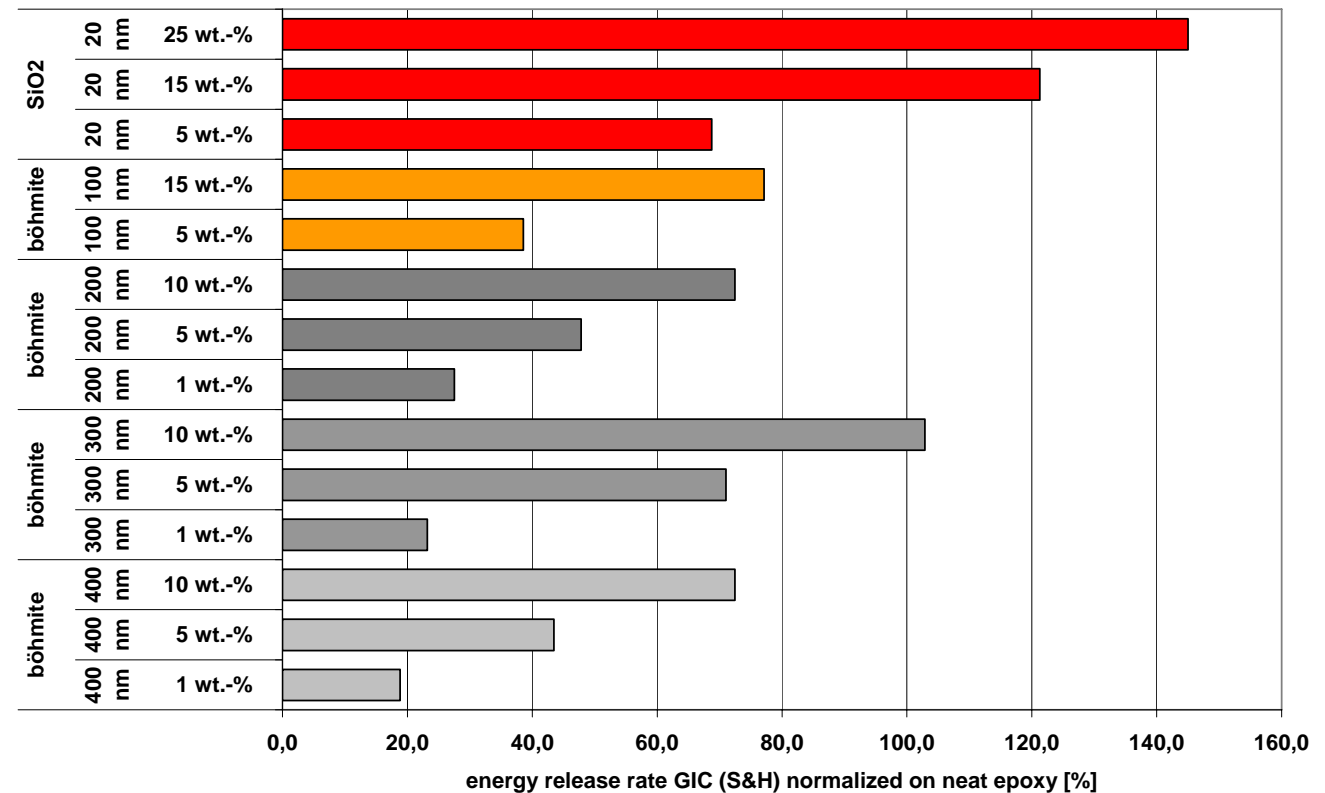
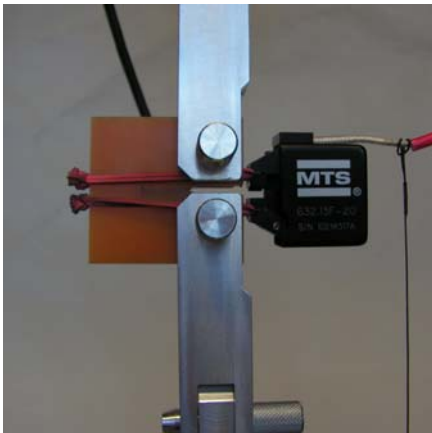
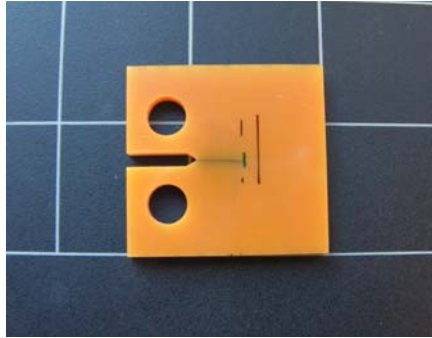


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 13

Werkstoffentwicklung - Multifunktionswerkstoffe

Nano-Partikel verbessern die Risszähigkeit von Harzen

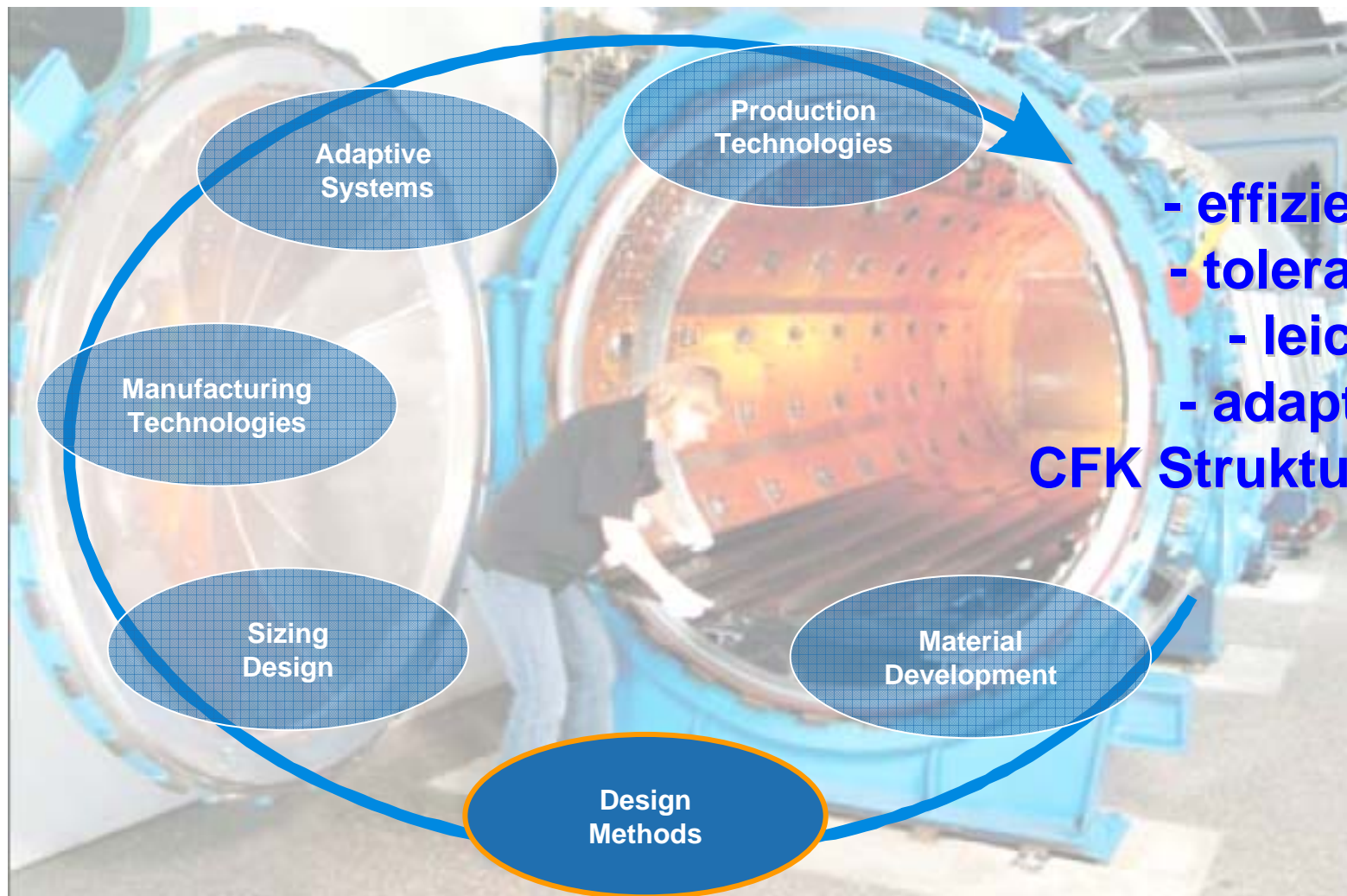


Durch Nanopartikel:

- höhere Steifigkeit und Festigkeit bei gleichzeitiger wesentlicher Verbesserung der Bruchzähigkeit → bessere Impacteigenschaften

→ **Größerer Widerstand gegen Ermüdungsrisse**

Entwurfsmethoden - Strukturmechanik

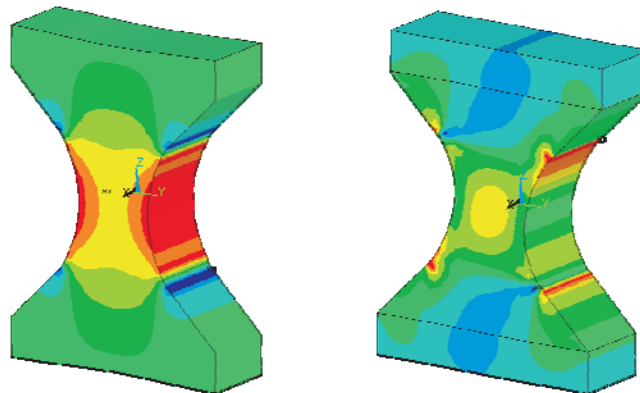
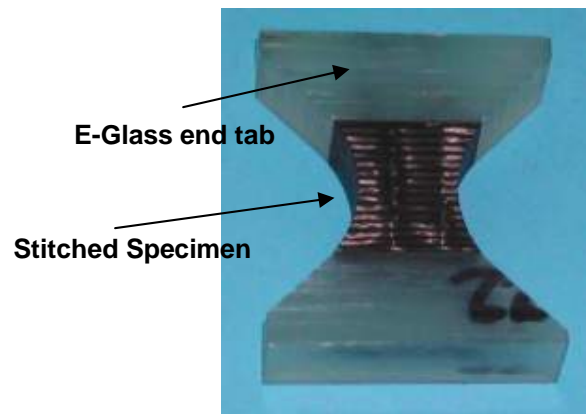


Entwurfsmethoden - Strukturmechanik

z.B. Kennwert-Bestimmung durch Coupon-Tests

Entwicklung neuer und verbesserter Prüfmethoden zur Bestimmung von Materialkennwerten

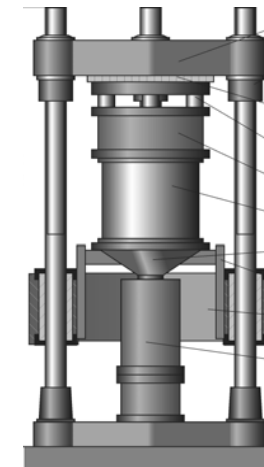
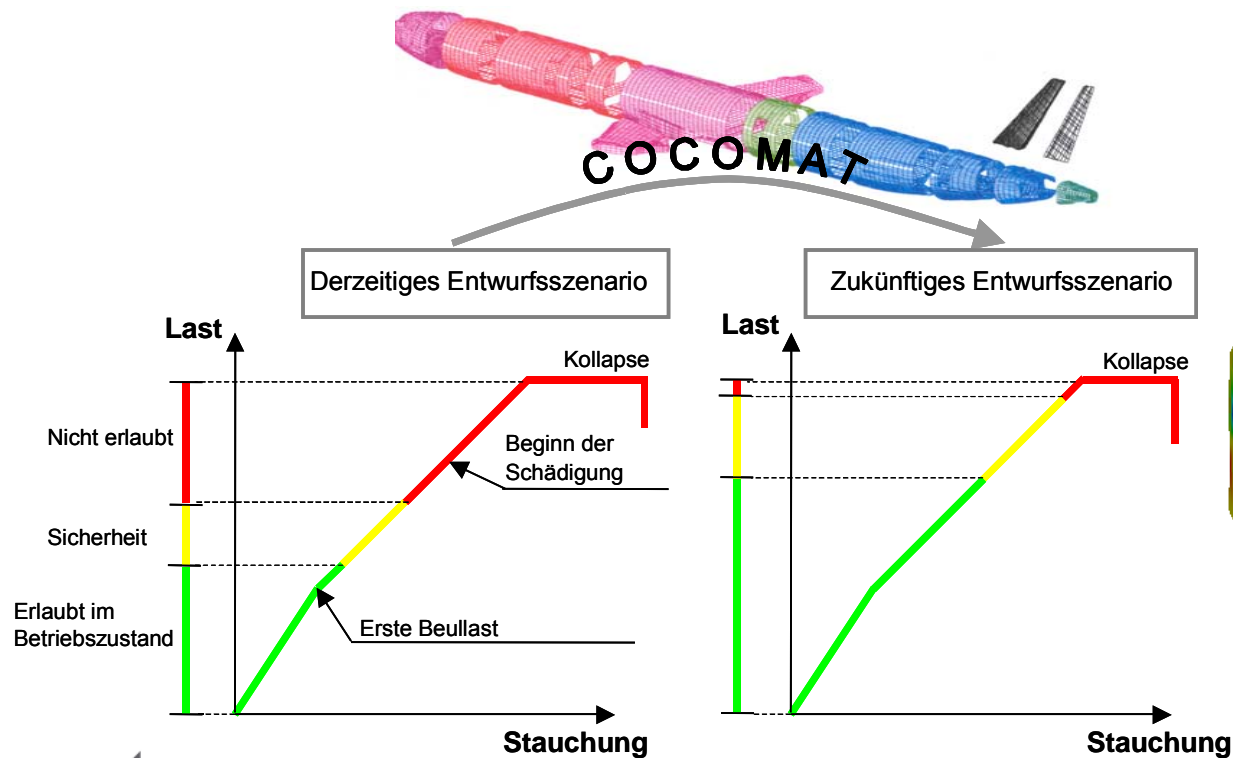
- Z.B. effiziente und reproduzierbare Bestimmung interlaminarer Materialsteifigkeiten und Materialfestigkeiten in Dickenrichtungen



Entwurfsmethoden - Strukturmechanik

z.B. Methodenvalidierung durch Komponenten-Tests

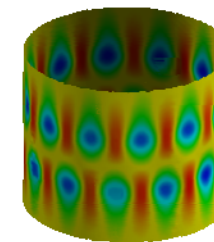
COCOMAT: Improved **MAT**erial Exploitation at Safe Design of **CO**mposite Airframe Structures by Accurate Simulation of **CO**llapse (EU 2004-2008)



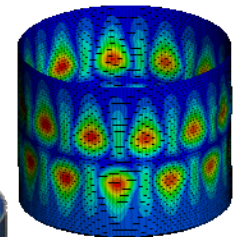
Möglichkeiten

- ✈ Zylinder
 - Axialer Druck
 - Innendruck
 - Torsion
- ✈ Versteifte Schale
 - Axialer Druck

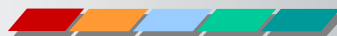
Experiment



Simulation



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 17

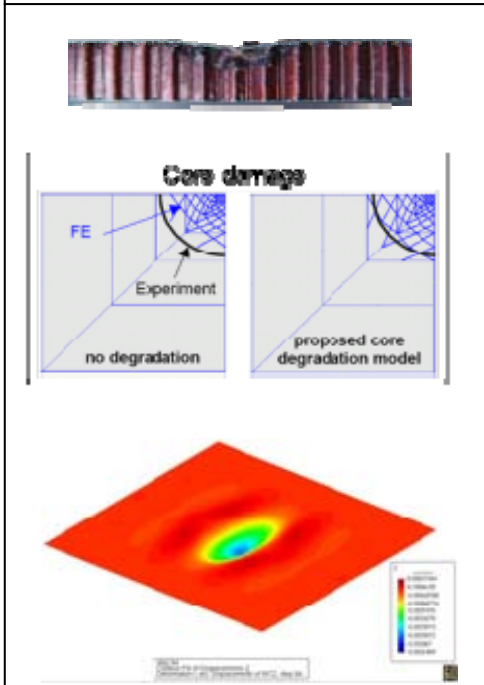
Entwurfsmethoden - Strukturmechanik

z.B. Methodenvalidierung durch Komponenten-Tests

CODAC: COmposite **D**amage Tolerance **A**nalysis **C**ode

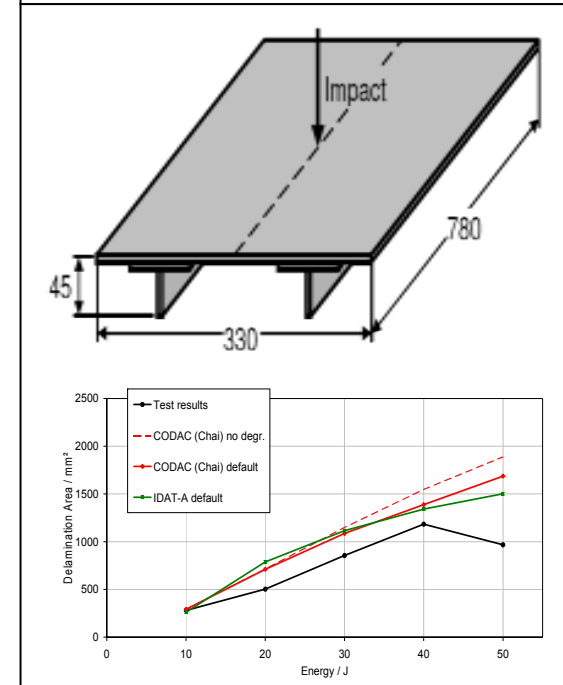
(DLR Entwicklung für ein schnelles Analyse-Tool zur Schadenstoleranz)

Sandwich-Strukturen



- Vorhersage der schwer erkennbaren Schäden von Niedrigenergie-Stößen
- Restfestigkeits-Vorhersage
- Entwurfsmodell-Validierung für Impact
- Spezielle Rechenmethodik zur schnellen Simulation

Monolithische Strukturen



Entwurfsmethoden - Strukturmechanik

z.B. Crash-Simulation

Objectives:

- Evaluation of the crash behaviour of fuselage sections
- Design tool ⇒ coarser kinematics models
- Certification ⇒ fully detailed models

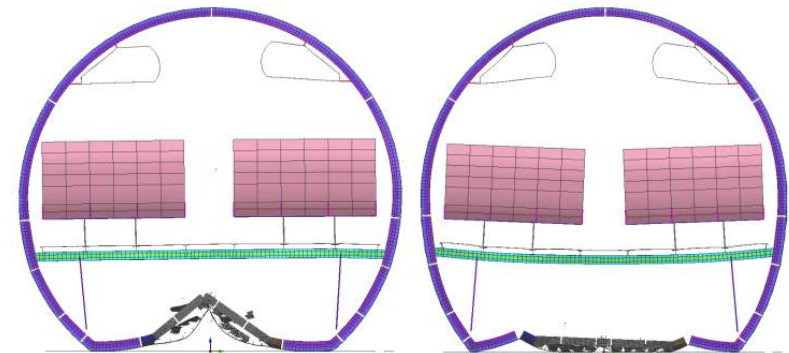
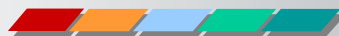
Status:

- Fully automated process chain
- Parameterized mesh generator SECTMESH
- Coupling to Solvers PAM-CRASH (DLR) and Abaqus /Expl. (Airbus)
- New Option to add Dummies

Kompetenz des DLR Institut für
Bauweisen&Konstruktion Stuttgart



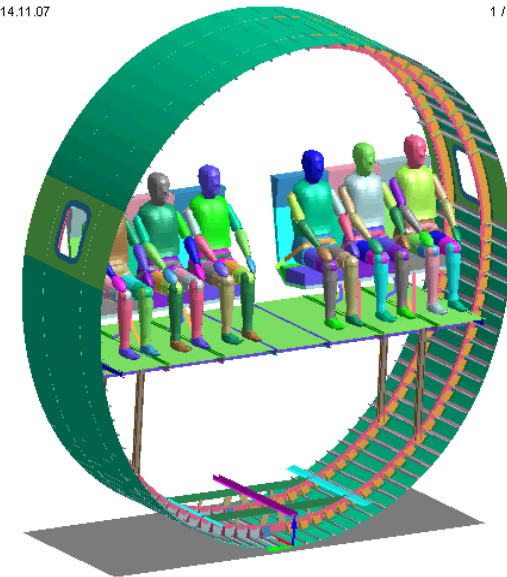
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Kinematics analyses of CFRP sections

A320_v2_02, 14.11.07

1 / 0.000000

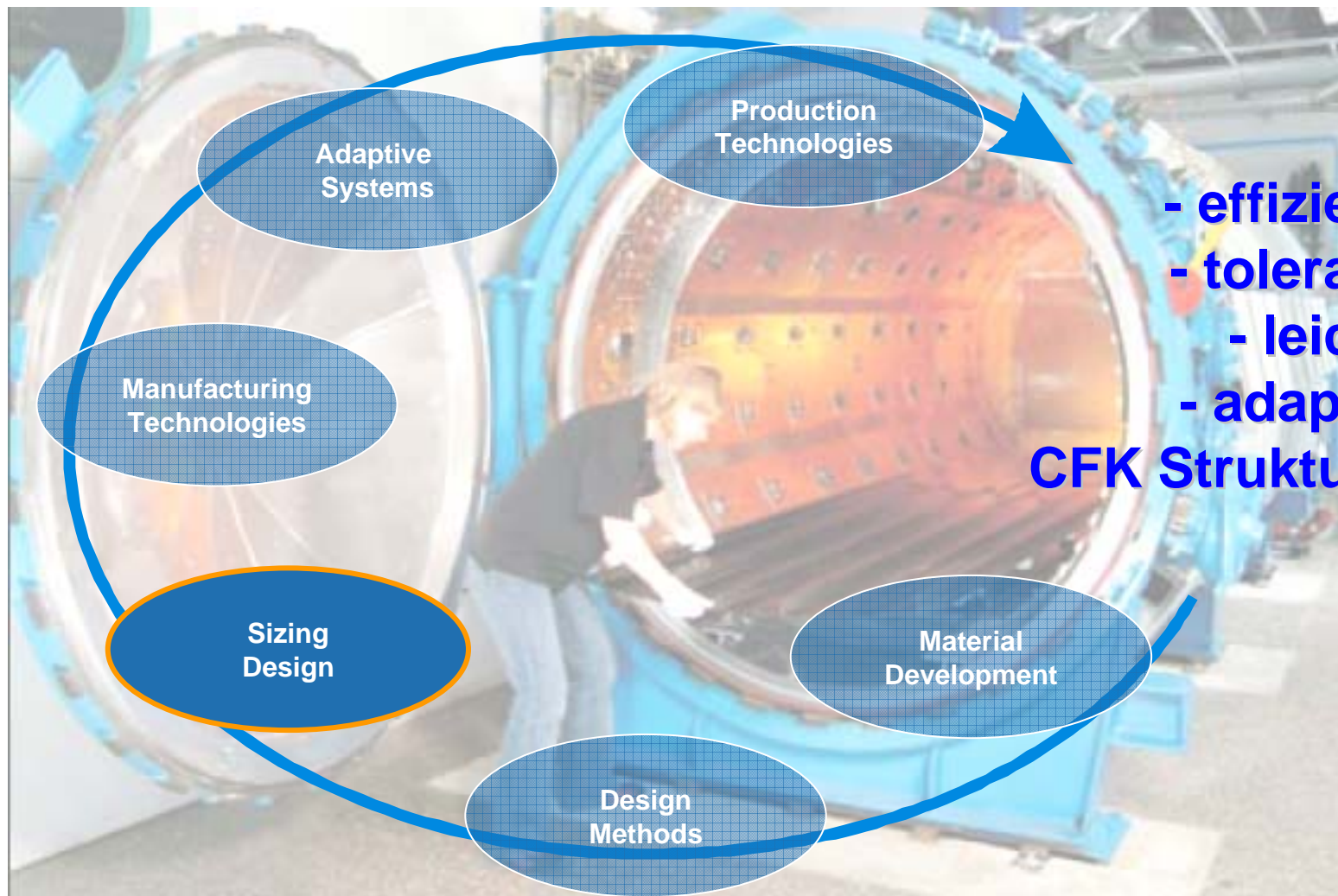


Detailed section including dummies

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 19

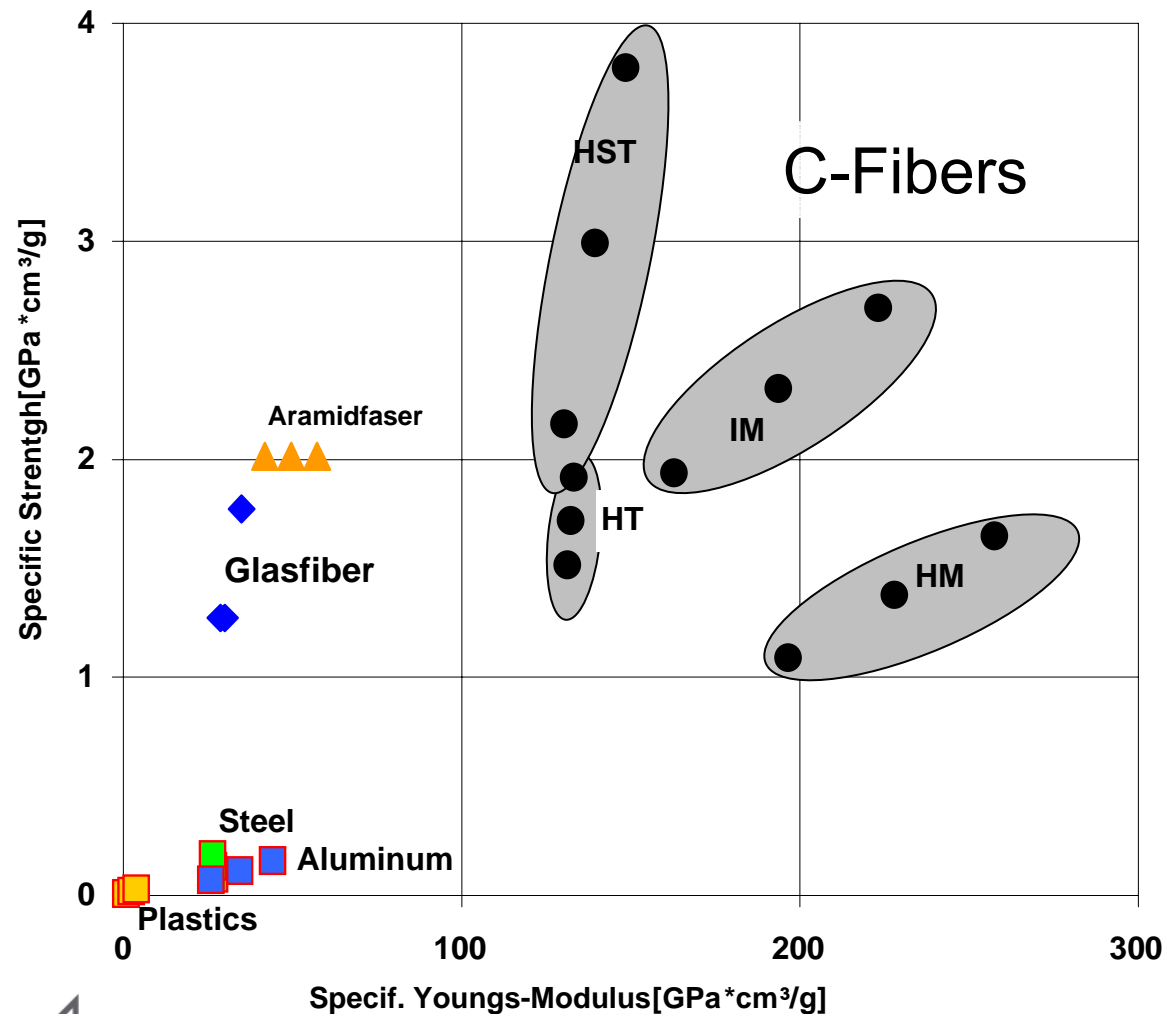
Bauteilgestaltung - Funktionsleichtbau



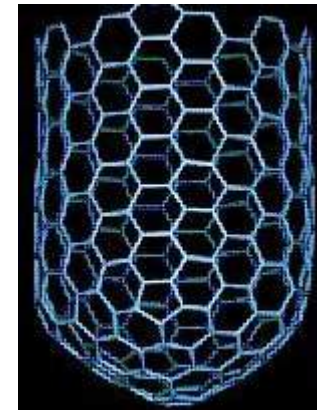
- effiziente
- tolerante
- leichte
- adaptive
CFK Strukturen

Bauteilgestaltung - Funktionsleichtbau

Gewichtsbezogene Steifigkeiten und Festigkeiten von CFK-Fasern

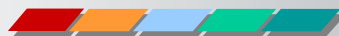


Carbon Nano Tubes



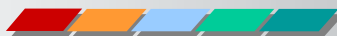
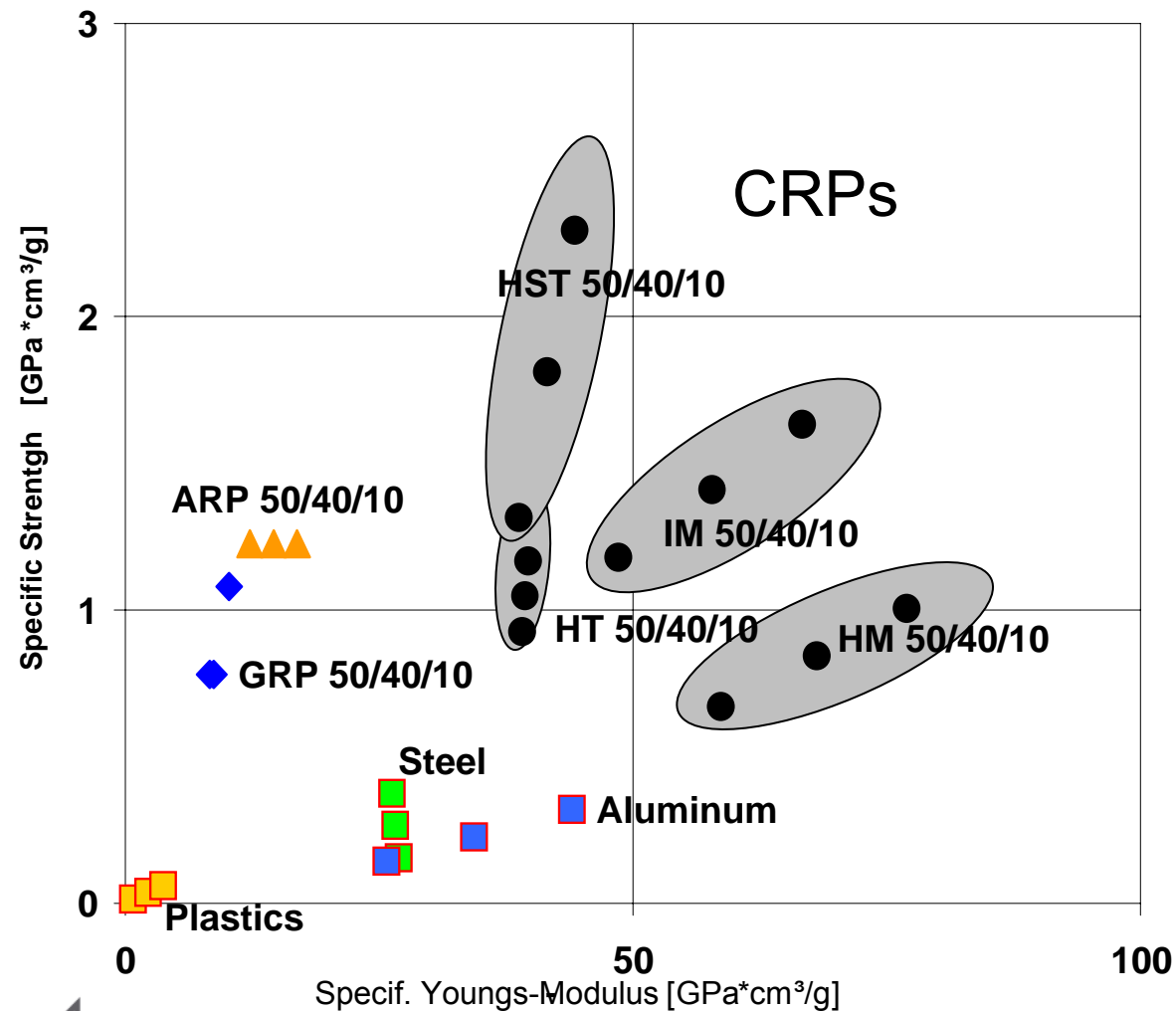
$$E_{\text{CNT}} > 640 \text{ GPa cm}^3/\text{g}$$

$$\sigma_{\text{CNT}} > 37 \text{ GPa cm}^3/\text{g}$$



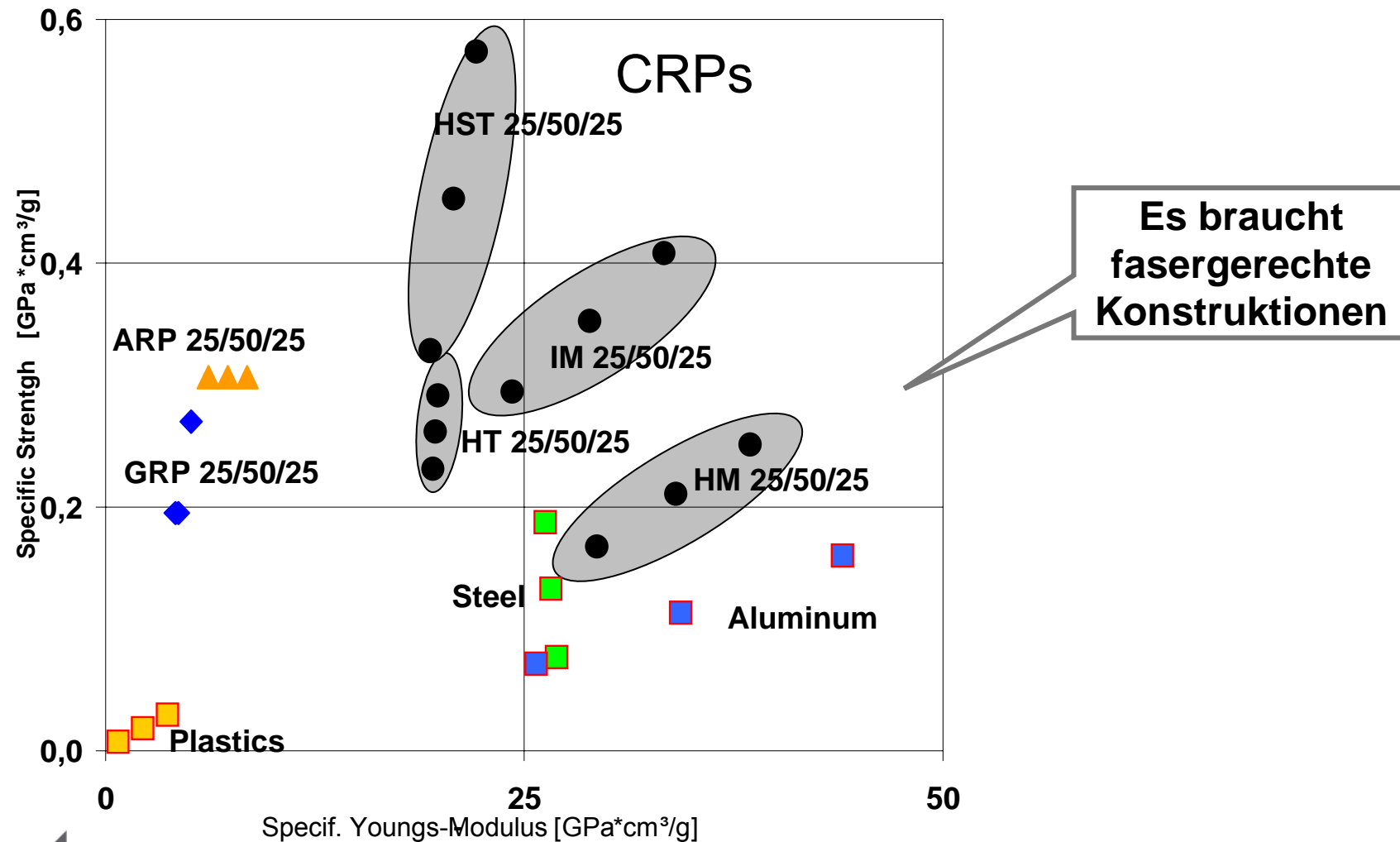
Bauteilgestaltung - Funktionsleichtbau

Gewichtsbezogene Steifigkeiten und Festigkeiten von Laminaten



Bauteilgestaltung - Funktionsleichtbau

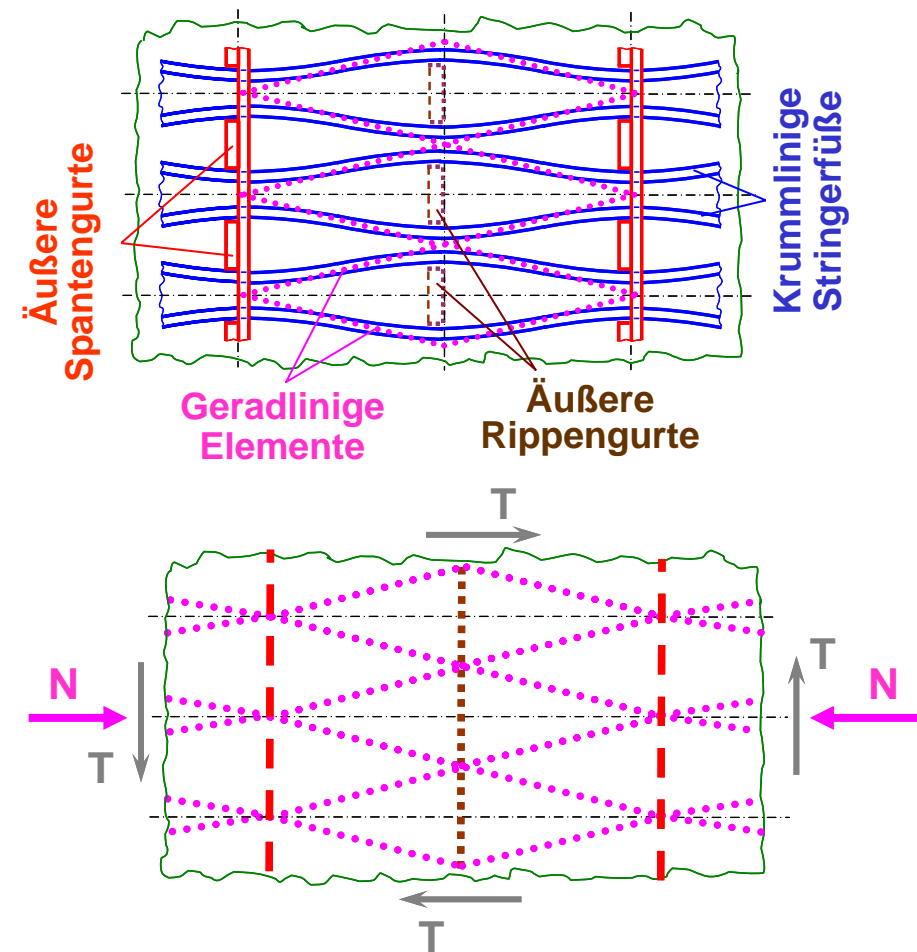
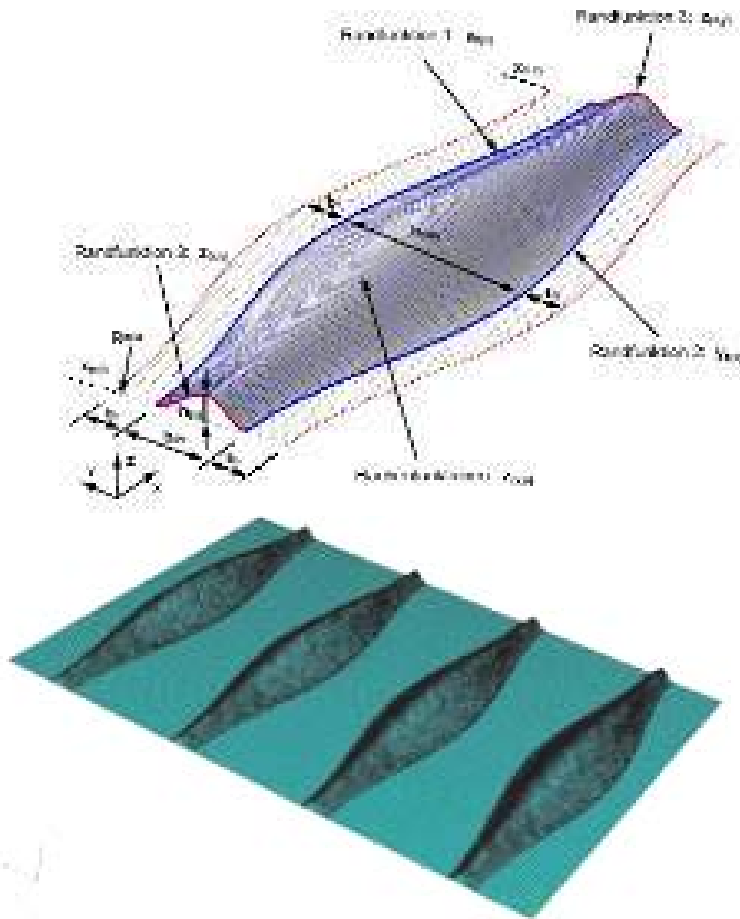
Gewichtsbezogene Steifigkeiten und Festigkeiten von isotropen Laminaten





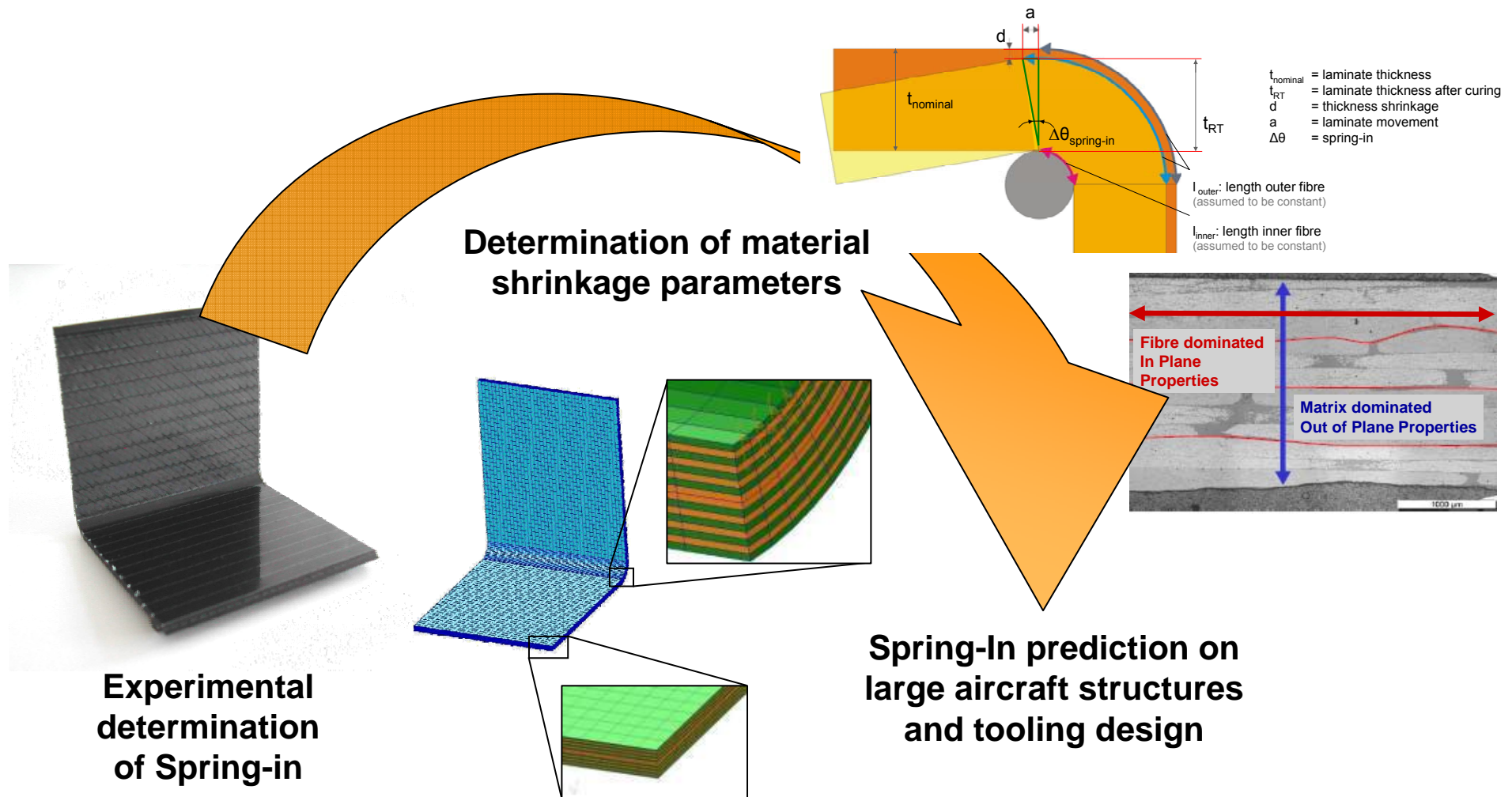
Bauteilgestaltung - Funktionsleichtbau

z.B. Semimonocoque-Paneele mit doppelt gekrümmten Stringern

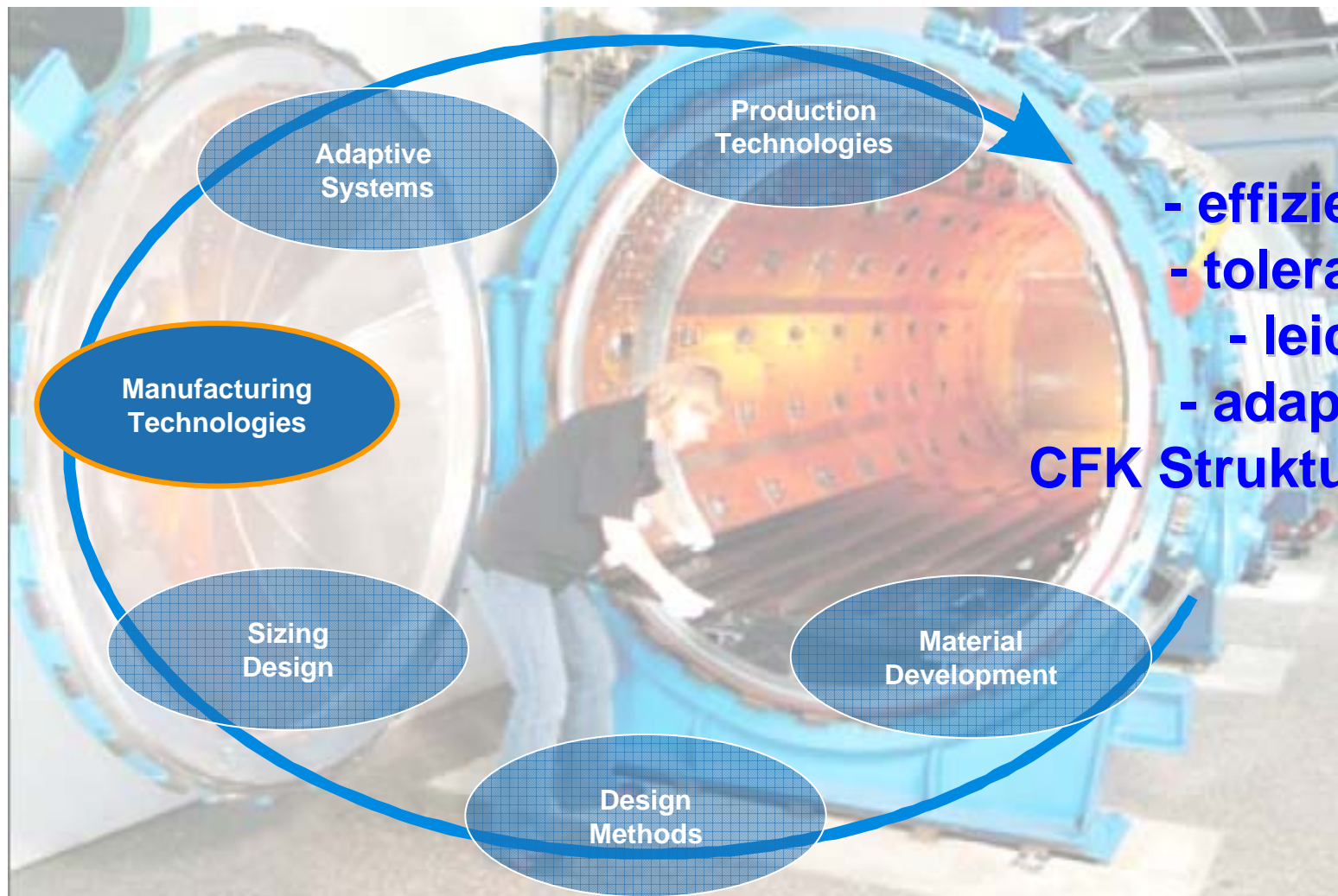


Bauteilgestaltung - Funktionsleichtbau

z.B. unter Berücksichtigung des Spring-In Effekts



Fertigungstechnologie



**- effiziente
- tolerante
- leichte
- adaptive
CFK Strukturen**

Fertigungstechnologie

z. B. Mikrowellenautoklav



Ziele

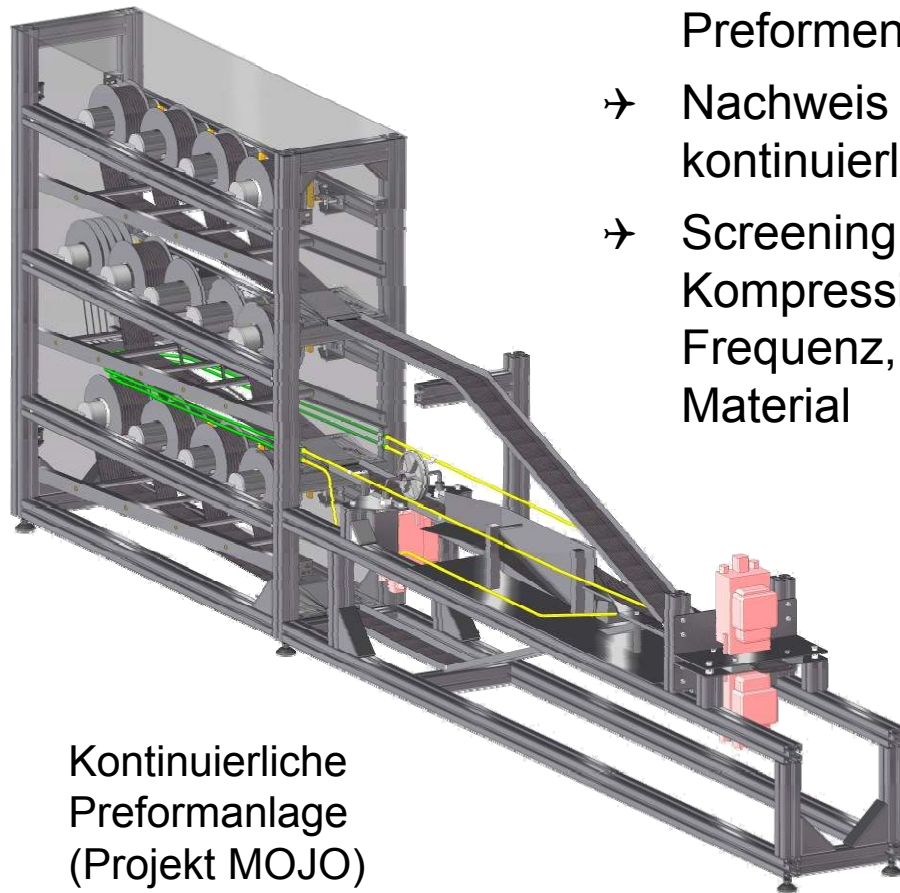
- ✈ Beschleunigung des Aushärteprozesses von groß-flächigen Prepregbauteilen
- ✈ Steigerung der Energieeffizienz

Ergebnisse

- ✈ Mikrowellenautoklav aufgestellt und erfolgreich getestet
- ✈ Erste Vorversuche (unversteifte Halbschale)

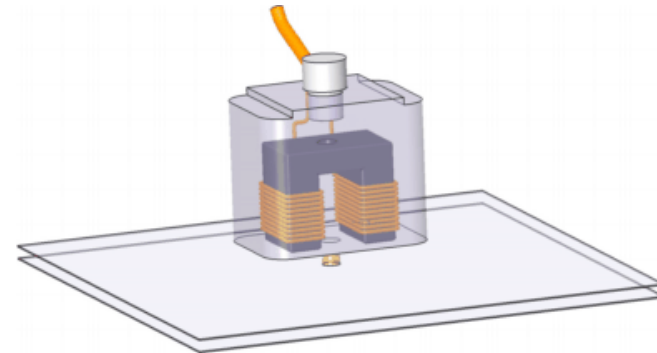
Fertigungstechnologie

z.B. energieeffiziente Formgebung mittels induktiver Erwärmung

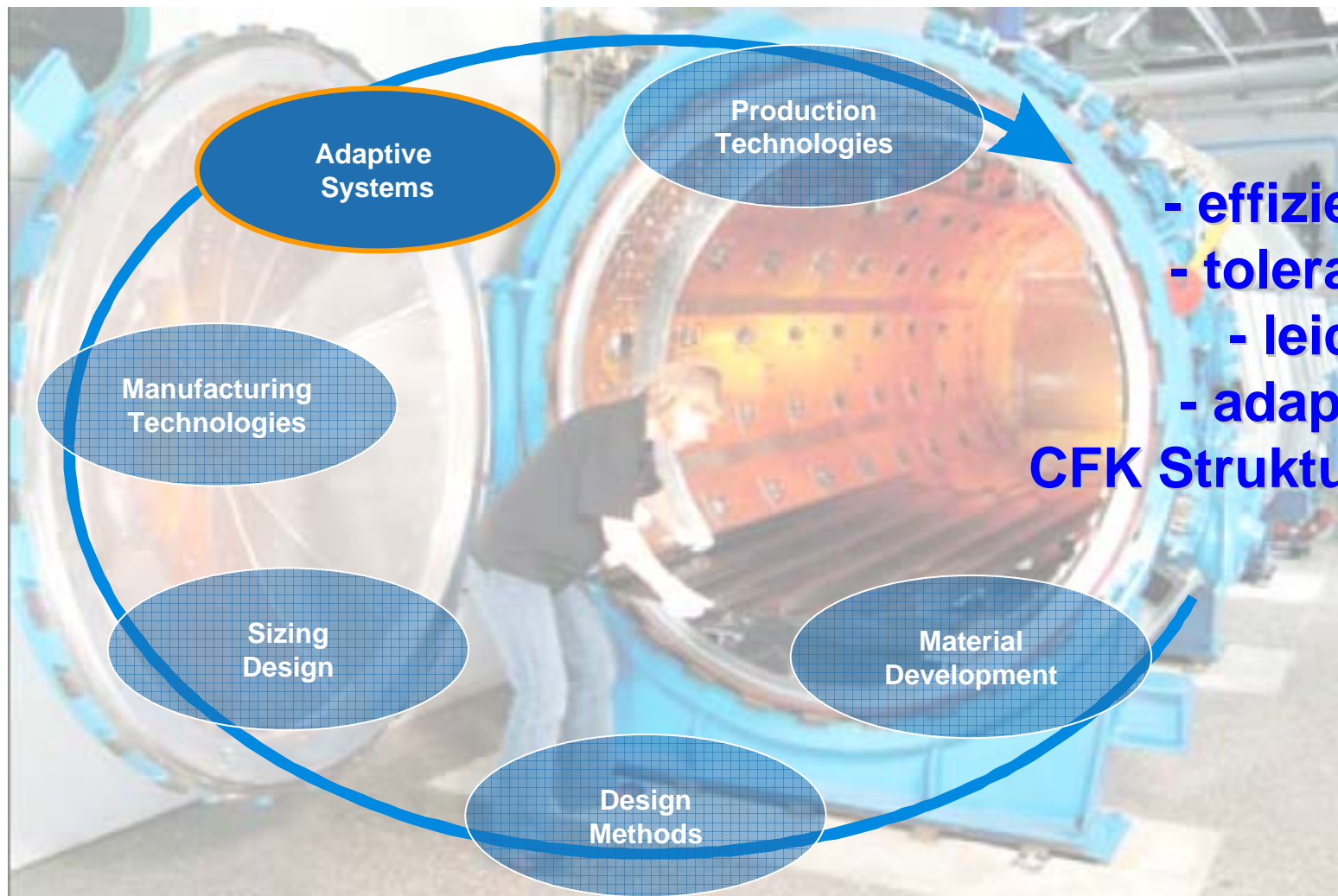


Kontinuierliche
Preformanlage
(Projekt MOJO)

- Nachweis der Machbarkeit für manuelles Preformen erbracht
- Nachweis der Machbarkeit für kontinuierliche Prozesse in DLR Preformanlage
- Screening der wichtigsten Einflussparameter: Kompression (Vakuum/Kraft), Energiedichte, Frequenz, Induktorgeometrie, Lagenaufbau, Material



Adaptive Systeme

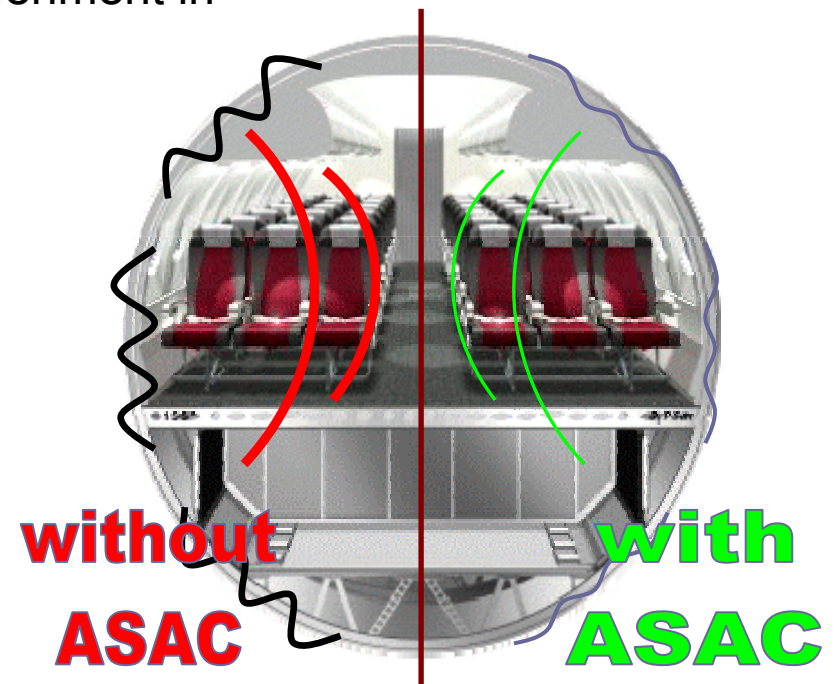
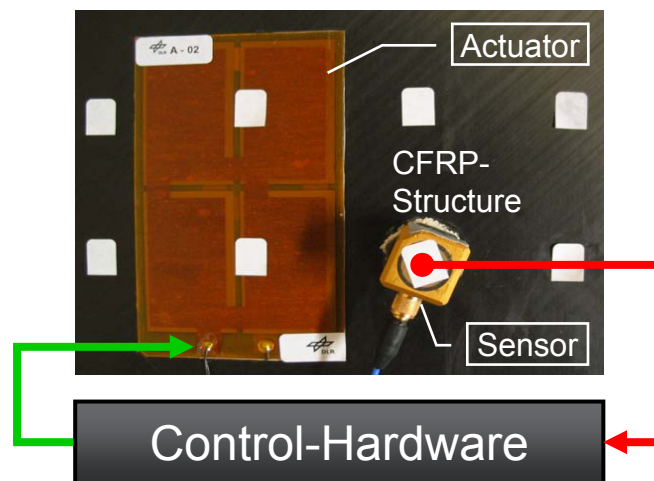


- effiziente
- tolerante
- leichte
- adaptive
CFK Strukturen

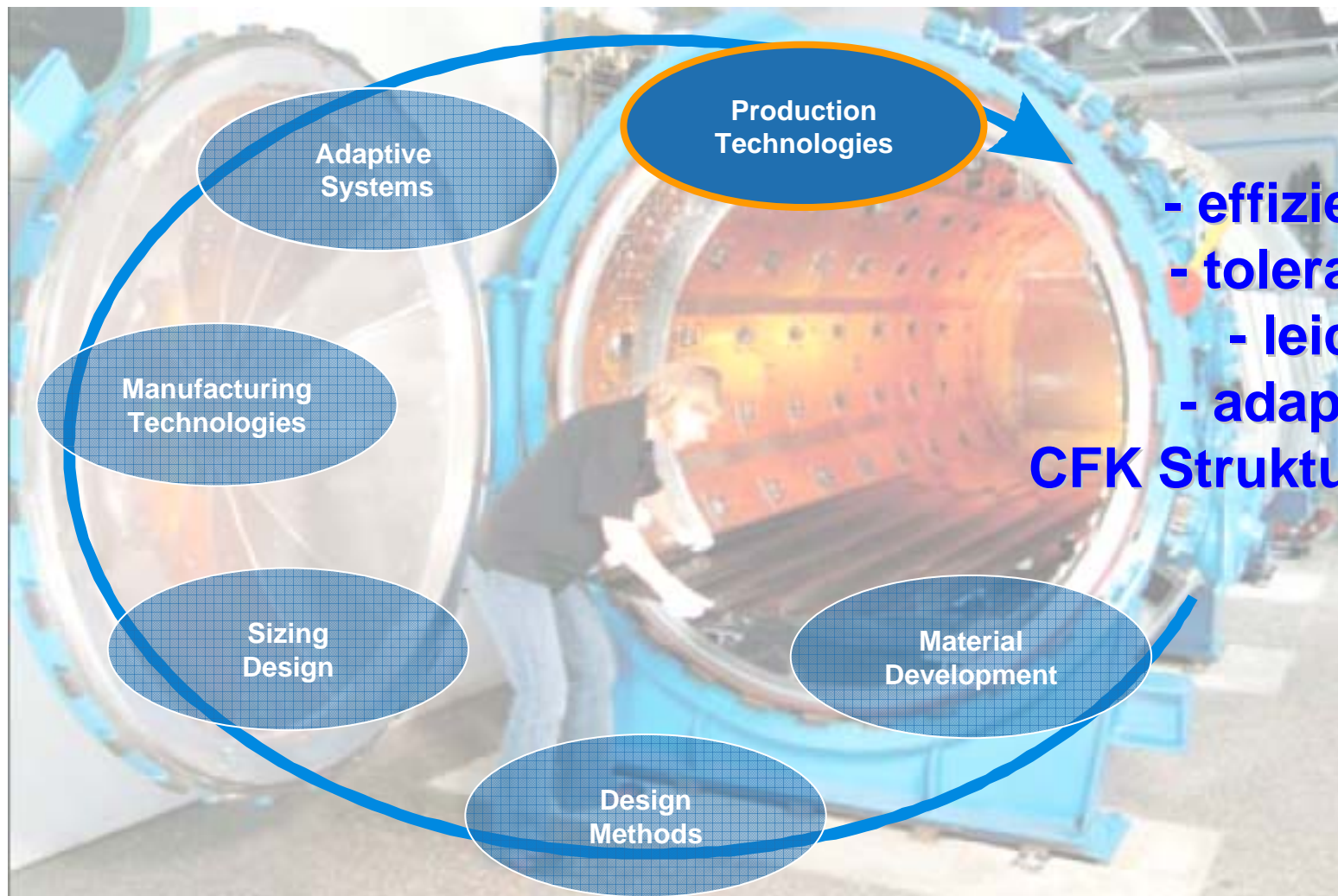
Adaptive Systeme

z.B. aktive Strukturdämpfung für Akustik

- Design and test of ASAC-systems for real CFRP fuselage panel with broad band excitation in acoustic transmission test field
- Systematic approach through stepwise increase of structure complexity
- Evaluation of active system efficiency by experiment in acoustic transmission test field



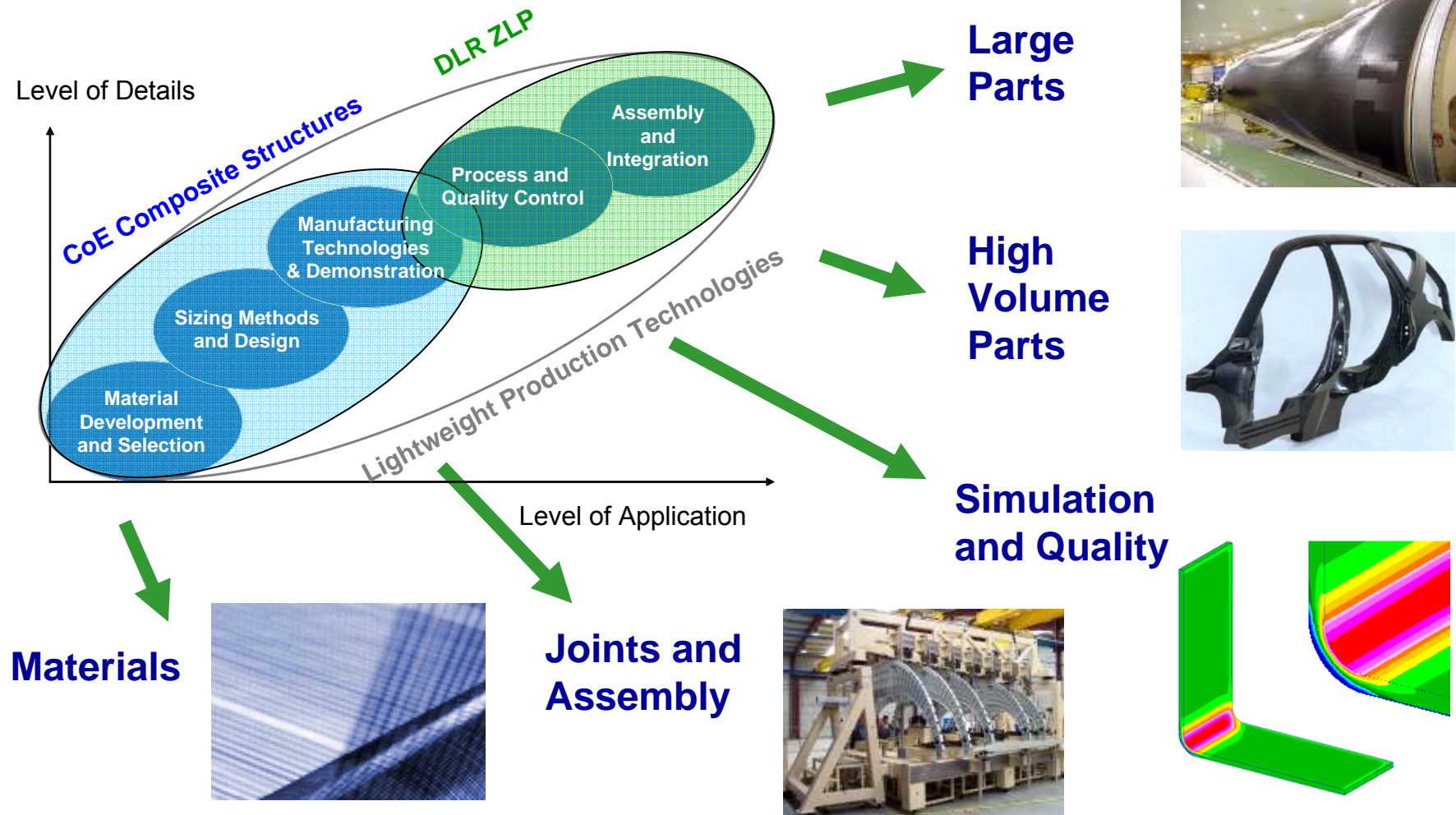
Produktionstechnologie



**- effiziente
- tolerante
- leichte
- adaptive
CFK Strukturen**

DLR Zentrum für Leichtbau-Produktionstechnologie

Die Forschungsplattform





DLR Zentrum für Leichtbau-Produktionstechnologie

Standorte, Forschungspartner und Kunden

Stade



CFK-NORD

Bremen

Braunschweig

Augsburg



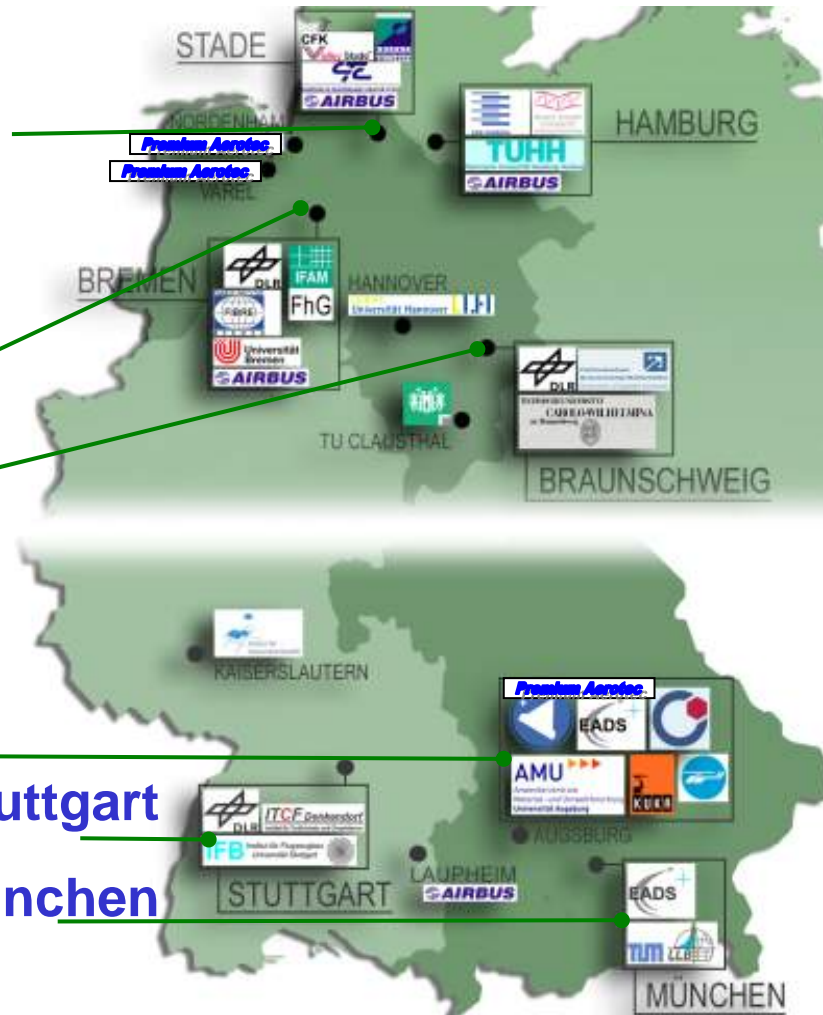
CFK-SÜD



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Stuttgart

München



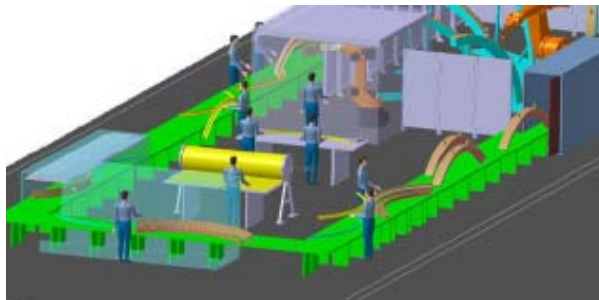
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 33

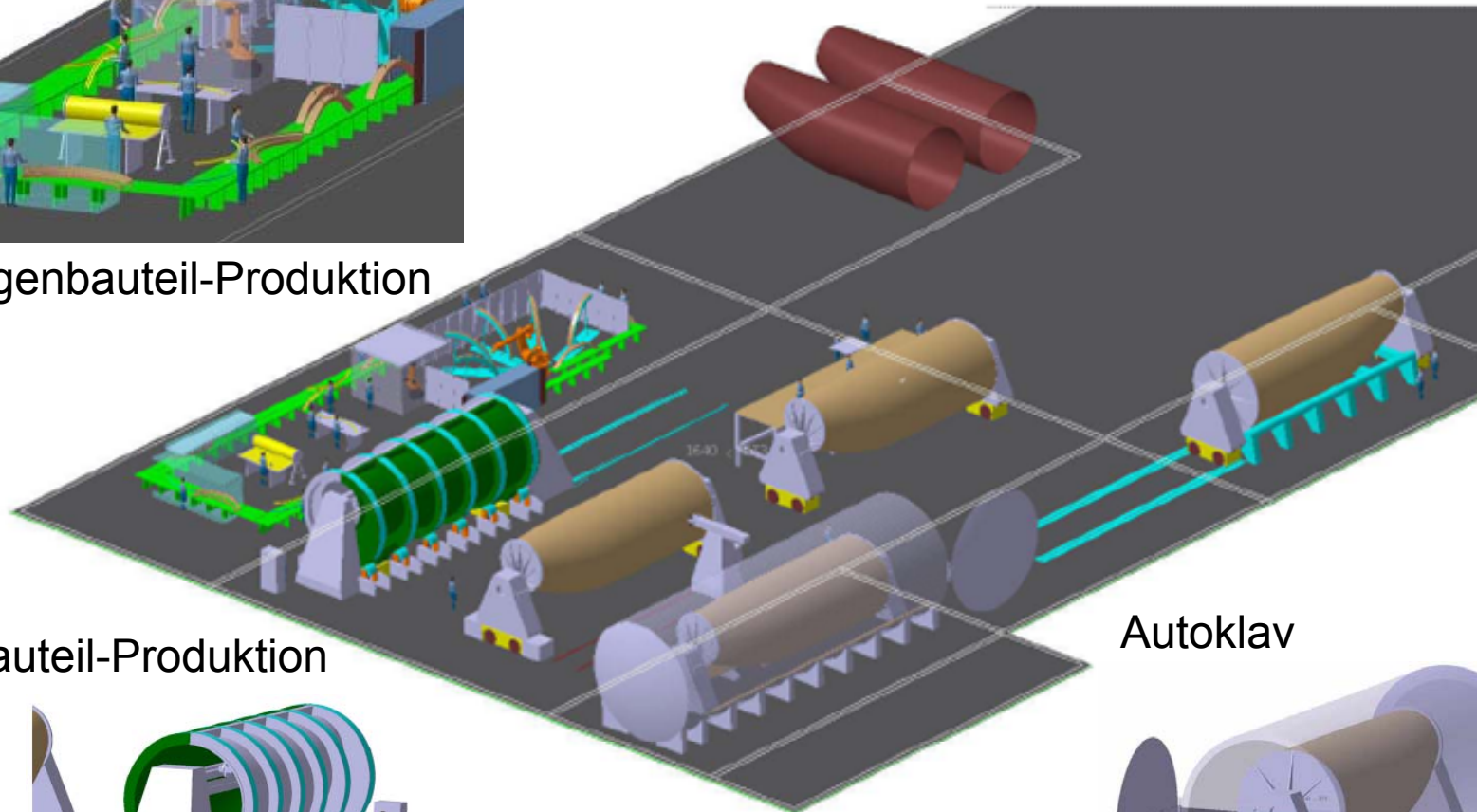


DLR Zentrum für Leichtbau-Produktionstechnologie

DLR-Beitrag Forschungsplattform CFK NORD – Operativ ab Anfang 2011

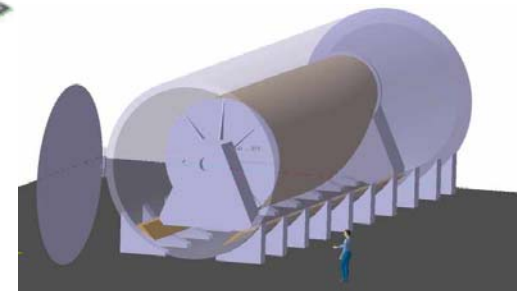
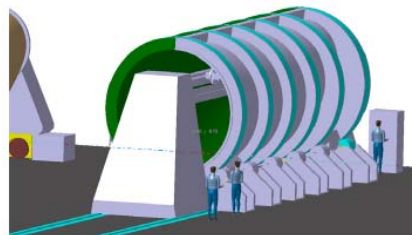


Mengenbauteil-Produktion

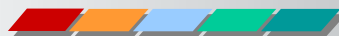


Großbauteil-Produktion

Autoklav



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



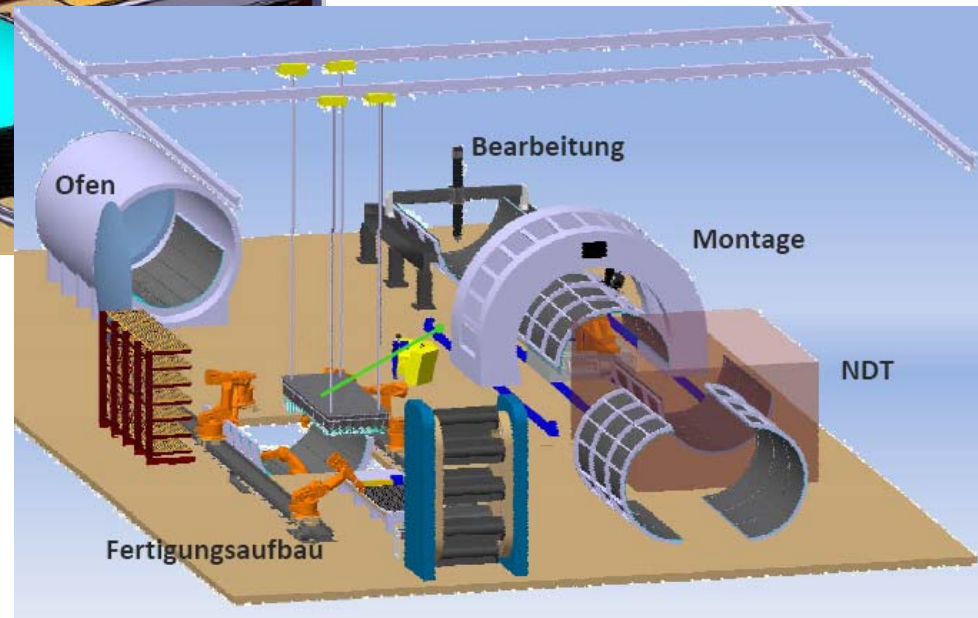
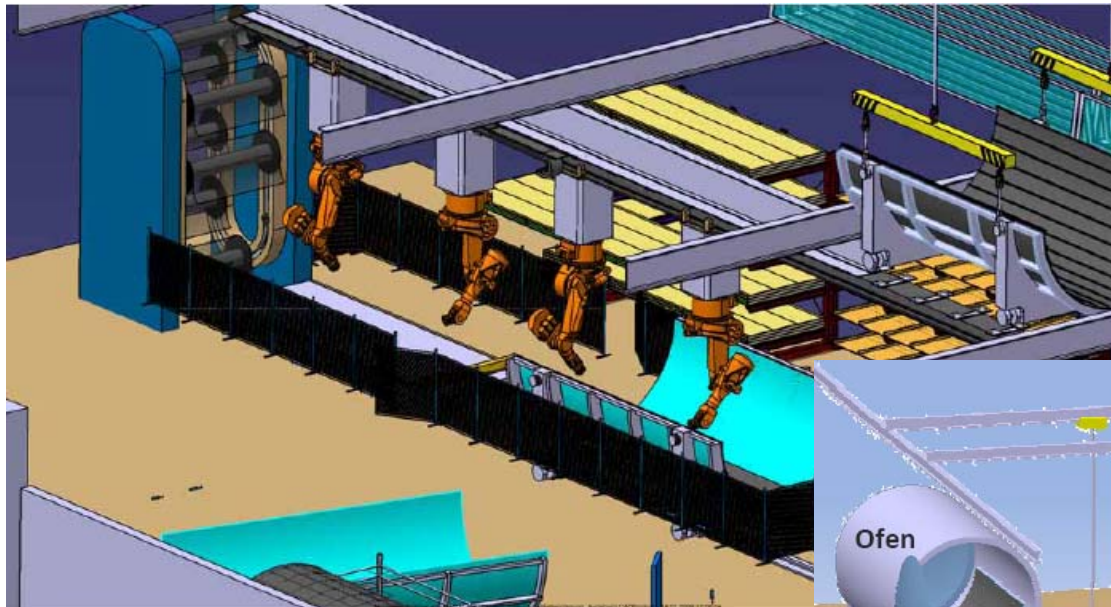
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 34

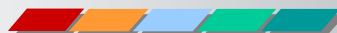


DLR Zentrum für Leichtbau-Produktionstechnologie

DLR-Beitrag Forschungsplattform CFK SÜD - Operativ ab Mitte 2011



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 35



Zusammenfassung

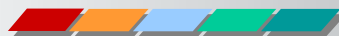
- ➔ Kohlefaserverbundwerkstoffe im Strukturleichtbau können einen erheblichen Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten
- ➔ Verbliebene Potentialbarrieren für die effiziente, wirtschaftliche und serielle Anwendung von Faserverbundstrukturen sind überwindbar
- ➔ Lösungen entlang der gesamten CFK-Prozesskette befinden sich in der Entwicklung
- ➔ Die Forschung für Entwicklung und Fertigung effizienter Faserverbundstrukturen wird auf den 1:1 Maßstab erweitert
- ➔ Das DLR Zentrum für Leichtbau-Produktionstechnik bietet im CFK-NORD in Stade und im CFK-SÜD in Augsburg die Möglichkeit der Forschung für innovative CFK-Strukturen gemäß industriellen Anforderungen



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

CFK- Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau (M. Wiedemann) Folie 37